

Министерство образования и науки Российской Федерации
федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Школа Инженерная школа неразрушающего контроля и безопасности
Направление подготовки 20.04.01. Техносферная безопасность
Отделение школы (НОЦ) Отделение контроля и диагностики

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Применение математического моделирования для расчета безопасного расстояния при горении разлива топлива

УДК 614.841.413.02:665.612

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1ЕМ61	Лаухина Юлия Николаевна		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Перминов В. А.	д. ф.- м.н		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Данков А.Г.	к.и.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Амелькович Ю.А.	к.т.н		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП 20.04.01 Техносферная безопасность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Перминов В. А.	д. ф.- м.н		

Результаты освоения образовательной программы по направлению 20.04.01 Техносферная безопасность

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требования ФГОС, критериев и/или заинтересованных сторон
<i>Профессиональные компетенции</i>		
P1	Использовать на основе <i>глубоких и принципиальных</i> знаний необходимое оборудование, инструменты, технологии, методы и средства обеспечения безопасности человека и окружающей среды от техногенных и антропогенных воздействий в условиях <i>жестких</i> экономических, экологических, социальных и других ограничений	Требования ФГОС (ПК-3–7; ОПК-1–3, 5; ОК-4–6) ¹ , Критерий 5 АИОР ² (пп.5.2.1, 5.2.3), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P2	Проводить <i>инновационные</i> инженерные исследования опасных природных и техногенных процессов и систем защиты от них, включая <i>критический анализ данных из мировых информационных ресурсов, формулировку выводов в условиях неоднозначности</i> с применением <i>глубоких и принципиальных</i> знаний и <i>оригинальных</i> методов в области современных информационных технологий, современной измерительной техники и методов измерения.	Требования ФГОС (ПК-8–13; ОПК-1–3, 5; ОК-4, 9, 10, 11, 12), критерии АИОР Критерий 5 АИОР (пп. 5.2.2, 5.2.4), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P3	Организовывать и руководить деятельностью подразделений по защите среды обитания и безопасному размещению и применению технических средств в регионах, осуществлять взаимодействие с государственными службами в области экологической, производственной, пожарной безопасности, защиты в чрезвычайных ситуациях, находить и принимать управленческие решения с соблюдением профессиональной этики и норм ведения <i>инновационной инженерной деятельности</i> с учетом юридических аспектов в области <i>техносферной безопасности</i>	Требования ФГОС (ПК-4, 6, 14–18; ОПК-1–5; ОК-1, 7, 8), Критерий 5 АИОР (пп.5.2.5, 5.3.1–2), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P4	Организовывать мониторинг в техносфере, составлять краткосрочные и долгосрочные прогнозы развития ситуации на основе его результатов с использованием <i>глубоких фундаментальных и специальных</i> знаний, аналитических методов и <i>сложных</i> моделей в условиях <i>неопределенности</i> , анализировать и оценивать потенциальную опасность объектов экономики для человека и среды обитания и разрабатывать рекомендации по повышению уровня безопасности	Требования ФГОС (ПК-2, 19, 21, 22; ОПК-1–5; ОК-2), Критерий 5 АИОР (п.5.2.5), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P5	Проводить экспертизу безопасности и экологичности технических проектов, производств, промышленных предприятий и территориально-производственных комплексов, аудит систем безопасности, осуществлять мероприятия по надзору и контролю на объекте экономики, территории в соответствии с действующей нормативно-правовой базой	Требования ФГОС (ПК-20, 23–25; ОПК-1–3, 5), Критерий 5 АИОР (пп.5.2.5–6), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
<i>Общекультурные компетенции</i>		

¹ Указаны коды компетенций по ФГОС ВО (направление 20.04.01 – Техносферная безопасность).

² Критерии АИОР (Ассоциации инженерного образования России) согласованы с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI

P6	Работать в интернациональной профессиональной среде, включая разработку документации, презентацию и защиту результатов <i>инновационной инженерной деятельности с использованием иностранного языка</i>	Требования ФГОС (ОК-5, 6, 10–12; ОПК-3), Критерий 5 АИОР (п.5.3.2), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P7	Эффективно работать индивидуально, а также в качестве <i>руководителя группы</i> с ответственностью за работу коллектива при решении инновационных инженерных задач в области техносферной безопасности, демонстрировать при этом готовность следовать профессиональной этике и нормам, понимать необходимость и уметь <i>самостоятельно учиться</i> и повышать квалификацию в течение всего периода профессиональной деятельности	Требования ФГОС ВО (ОК-1-3, 5, 8, 11, 12, ОПК 1-4, ПК-18) Критерий 5 АИОР (пп.5.3.3–6), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>

Министерство образования и науки Российской Федерации
федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Инженерная школа неразрушающего контроля и безопасности
Направление подготовки 20.04.01 Техносферная безопасность
Отделение контроля и диагностики

УТВЕРЖДАЮ:
Руководитель ООП
_____ В.А.Перминов
05.02.2018 г.

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

магистерской диссертации

Студенту:

	ФИО
1ЕМ61	Лаухиной Юлии Николаевне

Тема работы:

Применение математического моделирования для расчета безопасного расстояния при горении разлива топлива

Утверждена приказом директора (дата, номер)	№2373/с от 05.04.2018
---	-----------------------

Срок сдачи студентом выполненной работы:	07.06.2018 г.
--	---------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	Объектом исследования является типовая автозаправочная станция с резервуаром для хранения топлива объемом 50 м ³ . Литературные и статистические данные в области математического моделирования процесса горения огненного шара. Нормативные документы, регламентирующие деятельность и расположение автозаправочных станций на территории города.
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	1) Обзор существующих теоретических и экспериментальных методов изучения огненного шара. 2) Выбор метода математического моделирования. 3) Применение метода контрольного объема для получения дискретного аналога 4) Физическая и математическая постановки задачи о возникновении огненного шара при горении разлива топлива на автозаправочной

	<p>станции.</p> <p>5) Задание исходных данных и параметров</p> <p>6) Разработка численной методики решения задачи.</p> <p>7) Численное решение задачи по определению безопасного расстояния при горении огненного шара.</p> <p>8) Численное решения задачи по определению расстояния, на котором происходит зажигание деревянного строения.</p> <p>9) Анализ результатов, полученных при решении задачи по определению безопасного расстояния при горении огненного шара и расстояния, на котором происходит зажигание деревянного строения.</p>
--	--

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы

Раздел	Консультант
«Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»	Доцент ОСГН ШБИП ТПУ Данков Артем Георгиевич, к.и.н.
«Социальная ответственность»	Доцент ОКД ИШНКБ ТПУ Амелькович Юлия Александровна, к.т.н.
Раздел магистерской диссертации, выполненной на иностранном языке	Старший преподаватель ОИЯ ШБИП ТПУ Демьяненко Наталия Владимировна

Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:

1. Mathematical modeling of oil burning with event tree

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	05.02.2018 г.
---	---------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Перминов В.А.	д. ф.-м. н		05.02.2018 г.

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1ЕМ61	Лаухина Юлия Николаевна		05.02.2018 г.

Министерство образования и науки Российской Федерации
федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Инженерная школа неразрушающего контроля и безопасности
Направление подготовки 20.04.01 Техносферная безопасность
Уровень образования магистратура
Отделение контроля и диагностики
Период выполнения весенний семестр 2017/2018 учебного года

Форма представления работы:

магистерская диссертация

**КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН
выполнения выпускной квалификационной работы**

Срок сдачи студентом выполненной работы:	07.06.18
--	----------

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
12.03.2018 г.	Разработка раздела «Литературный обзор», работа с иностранными источниками	20
26.03.2018 г.	Разработка раздела «Литературный обзор», анализ собранной информации, поиск метода проведения исследования	10
09.04.2018 г.	Математическое моделирование процесса горения разлива топлива, физическая постановка задачи, математическая постановка задачи.	25
23.04.2018 г.	Результаты решения задачи, анализ полученных данных и верификация модели	15
07.05.2018 г.	Разработка разделов «Социальная ответственность» и «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»	10
21.05.2018 г.	Оформление и представление ВКР	20

Составил преподаватель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Перминов В.А.	д.ф.-м.н		05.02.2018

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ООП 20.04.01 Техносферная безопасность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Перминов В.А.	д.ф.-м.н.		05.02.2018

ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ

Студенту:

Группа	ФИО
1ЕМ61	Лаухина Юлия Николаевна

Школа	ИШНКБ	Отделение	ОКД
Уровень образования	магистратура	Направление/специальность	20.04.01 Техносферная безопасность

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Оклад руководителя - 33162 руб.
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	Премияльный коэффициент руководителя 30%; Доплаты и надбавки руководителя 30%; Дополнительной заработной платы 12%; Накладные расходы 16%; Районный коэффициент 1,3
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	Коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды 30 %

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	-Анализ конкурентных технических решений
2. Планирование и формирование бюджета научных исследований	Формирование плана и графика разработки: - определение структуры работ; - определение трудоемкости работ; - разработка графика Гантта. Формирование бюджета затрат на научное исследование: - материальные затраты; - заработная плата (основная и дополнительная); - отчисления на социальные цели; - накладные расходы.
3. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	- Определение эффективности исследования

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. Оценочная карта конкурентных технических решений
2. График Гантта
3. Расчет бюджета затрат НИ

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	
--	--

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Данков А.Г.	к.и.н		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1ЕМ61	Лаухина Юлия Николаевна		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
1ЕМ61	Лаухина Юлия Николаевна

Школа	ИШНКБ	Отделение	ОКД
Уровень образования	магистратура	Направление/специальность	20.04.01-Техносферная безопасность

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

<p>1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения</p>	<p>Объектом исследования является участок магистрального нефтепровода. При эксплуатации магистрального трубопровода могут иметь место вредные и опасные проявления факторов производственной среды для человека.</p> <ul style="list-style-type: none"> - вредные факторы (освещенность, шум, микроклимат, химические вещества) - опасные факторы (электрический ток, статическое напряжение) <p>Оказывается негативное воздействие на природу (атмосферу, гидросферу, литосферу).</p> <p>Возможно возникновение чрезвычайных ситуаций техногенного характера.</p>
---	--

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

<p>1. Производственная безопасность</p> <p>1.1. Анализ выявленных вредных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности:</p> <ul style="list-style-type: none"> – физико-химическая природа вредности, её связь с разрабатываемой темой; – действие фактора на организм человека; – приведение допустимых норм с необходимой размерностью (со ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ); – предлагаемые средства защиты; (сначала коллективной защиты, затем – индивидуальные защитные средства). <p>1.2. Анализ выявленных опасных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности:</p> <ul style="list-style-type: none"> – механические опасности (источники, средства защиты); – термические опасности (источники, средства защиты); – статическое электричество, молниезащита – источники, средства защиты) 	<p>1.1. Освещенность, шум, микроклимат, химические вещества.</p> <p>1.2. Электрический ток, статическое напряжение.</p>
<p>2. Экологическая безопасность:</p> <ul style="list-style-type: none"> – защита селитебной зоны – анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы); 	<p>2. Утечки нефти, как влияние на атмосферу, гидросферу, литосферу.</p>

<ul style="list-style-type: none"> – анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы); – анализ воздействия объекта на литосферу (отходы); – разработать решения по обеспечению экологической безопасности со ссылками на НТД по охране окружающей среды. 	
<p>3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</p> <ul style="list-style-type: none"> – перечень возможных ЧС при разработке и эксплуатации проектируемого решения; – выбор наиболее типичной ЧС; – разработка превентивных мер по предупреждению ЧС; – разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий. 	3. Пожар, автоматизированные средства пожаротушения.
<p>4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</p> <ul style="list-style-type: none"> – специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны. 	<ul style="list-style-type: none"> – Правила технической эксплуатации резервуаров магистральных нефтепроводов и нефтебаз РД 153-39.4-078-01 – РД 153-39.4-113-01 «Нормы технологического проектирования магистральных трубопроводов»

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	
--	--

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Амелькович Ю.А.	к.т.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1ЕМ61	Лаухина Юлия Николаевна		

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа 143 с., 8 рис., 23 табл., 37 источников.

Ключевые слова: автозаправочная станция, математическое моделирование, метод контрольного объёма, огненный шар, безопасное расстояние.

Объектом исследования является автозаправочная станция с резервуаром для хранения топлива, на которой, в результате аварийной ситуации, происходит возгорание разлива топлива с образованием огненного шара.

Предмет исследования – математические модели процесса горения разлива топлива с образованием огненного шара.

Цель работы – Определения безопасного расстояния для человека и объектов экономики от опасных объектов с учетом интенсивности теплового воздействия и степени поражения человека при аварии на данном объекте.

Метод математического моделирования позволяет адекватно описывать процесс горения топлива с образованием огненного шара, рассчитать безопасное расстояние для человека и объектов экономики от опасных объектов с учетом интенсивности теплового воздействия и степени поражения человека при аварии на данном объекте.

В процессе исследования создавалась математическая модель воздействия огненного шара, образовавшегося в результате возгорания топлива, на человека и сооружения, а также разрабатывалась вычислительная методика для проведения численных экспериментов в рамках построенной модели.

В результате исследования были определены безопасные расстояния от очага образования огненного шара до человека и строения.

Степень внедрения: разработанная в данной работе математическая модель процесса горения огненного шара и термического воздействия

данного объекта на человека и строения опубликована в сборниках научных конференций.

Экономическая эффективность/значимость работы: данная работа позволит более точно рассчитать безопасное расстояние для расположения автозаправочных станций на территории города в зависимости от объема, хранящегося на данном объекте топлива.

В будущем планируется: создание более удобного интерфейса, 3D восприятие ситуации.

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ

АЗС – автозаправочная станция

МАЗС – модульная автозаправочная станция

КАЗС – контейнерная автозаправочная станция

ПАЗС – передвижная автозаправочная станция

МТАЗС – многотопливная автозаправочная станция

АГНКС – автомобильная газонаполнительная компрессорная станция

АГЗС – автомобильная газозаправочная станция

СУГ – сжиженные углеводородные газы

ОШ – огненный шар

ЛВЖ – легковоспламеняющиеся жидкости

ПО – программное обеспечение

КО – контрольный объем

Оглавление

РЕФЕРАТ.....	9
СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ	11
1.ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР	16
1.1Автозаправочные станции и их виды.	16
1.2 Основные пожаровзрывоопасные характеристики веществ и материалов, обращающихся на АЗС	18
1.3 Построение дерева событий	19
1.4 Частоты отказов основного технологического оборудования, используемого на АЗС	21
1.5 Разгерметизация технологического трубопровода на эстакаде.....	22
1.6 Сход/ разрушение цистерны (группы цистерн), содержащей продукт при атмосферном давлении	25
1.7 Воспламенение цистерны при наливке взрывопожароопасной жидкости	28
1.8 Оценка опасных факторов аварий с пожарами.....	31
1.9 Критерии поражения людей, зданий и оборудования опасными факторами аварии с пожарами и взрывами.....	33
1.9.1. Детерминированные критерии оценки поражающего действия ударной волны.....	33
1.9.2. Вероятностные критерии оценки поражающего действия УВ.....	34
1.9.3. Детерминированные критерии оценки поражения тепловым излучением	34
1.9.4. Вероятностные критерии оценки поражения тепловым излучением	34
1.10 Рекомендации по снижению риска аварии на объектах, занимающихся реализацией взрывопожароопасных жидкостей.....	35
2. ОБЪЕКТ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ.....	39
2.1 Моделирование аварийной ситуации.....	39
2.2 Описание объекта исследования.....	40
2.3 Физическая постановка задачи	42
2.4 Математическая постановка задачи.....	45
2.5 Численный метод решения	47
2.5.1 Метод решения сеточных уравнений TDMA.....	50
2.6 Расчет поражающего фактора при горении огненного шара.....	52
2.6.1 Огненный шар.....	52
3. РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТОВ.....	56
4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	61
4.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	61
4.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования.....	61
4.1.2 Технология QuaD	62
4.2 SWOT-анализ.....	64

4.3 Планирование научно-исследовательских работ	69
4.3.1. Структура работ в рамках научного исследования	69
4.3.2 Определение трудоемкости выполнения работ	70
4.3.3 Разработка графика проведения научного исследования	73
4.4 Бюджет научно-технического исследования (НТИ).....	79
4.4.1 Расчет материальных затрат НТИ.....	79
4.4.2 Основная заработная плата исполнителей темы	82
4.4.3 Дополнительная заработная плата исполнителей темы	83
4.4.4 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления).....	83
4.4.5 Накладные расходы	84
4.4.6 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта	84
4.5. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	85
5. СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ.....	90
5.1 Производственная безопасность	90
5.1.1 Анализ вредных факторов проектируемой производственной среды.	90
5.1.1.1 Освещенность	91
5.1.1.2 Шум.....	93
5.1.1.3 Микроклимат	95
5.1.1.4 Химические вещества	98
5.1.2 Анализ опасных факторов проектируемой производственной среды	99
5.1.2.1 Электрический ток.....	99
5.1.2.2 Статическое электричество.....	101
5.2 Экологическая безопасность	102
5.3 Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....	106
5.4 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.....	110
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	119
Список публикаций	120
Список литературы	121
Приложение А Раздел 1.3 Mathematical modeling of oil burning with event tree	125
Приложение Б Физико-химические свойства дизельного топлива, газов, метана, бутана, пропана ..	135
Приложение В Частоты отказов технологического оборудования.....	138
Приложение Г Дерево причин возникновения пожара на АЗС	141

ВВЕДЕНИЕ

Аварии, возникающие на объектах хранения и использования топлива, могут привести к большому количеству человеческих жертв и потери материальных ценностей. Одними из таких объектов повышенной пожаровзрывоопасности являются автозаправочные станции (АЗС), которые работают на жидком топливе. Высокая степень обусловлена хранящимся в большом количестве автомобильным топливом, с низкой температурой воспламенения, технологическим процессом, связанным с наливом, хранением и отпуском топлива.

Основная часть автозаправочных станций строится на территории населенных пунктов и крупных городов. Данный факт увеличивает ежедневное количество людей, находящихся на данном объекте и вблизи него, а также приводит к увеличению времени экспозиции людей в опасной зоне вблизи объекта.

Таким образом, все вероятные аварийные ситуации на АЗС представляют серьезную опасность для населения, окружающих объектов и окружающей среды. Кроме того, любое опасное воздействие на автозаправочную станцию со стороны других объектов, способно повлечь за собой возникновение аварийной ситуации с последующим горением или взрывом. Для обеспечения пожарной безопасности на объекте с высокой степенью пожарной опасности используют конструктивные и объемно-планировочные решения, а также обеспечивают безопасность особенностями размещения объекта относительно других объектов экономики с соблюдением безопасных расстояний.

Для предотвращения катастрофических последствий необходимо разработать методику прогнозирования масштабов возможной аварии. Для решения данной задачи возможно применение метода математического моделирования для анализа распространения фронта пламени при горении

разлива нефти, изменения концентрации продуктов горения в воздухе при изменении условий окружающей среды.

Цель работы: Определения безопасного расстояния для человека и объектов экономики от опасных объектов с учетом интенсивности теплового воздействия и степени поражения человека при аварии на данном объекте.

В задачи исследования входит:

1. Изучить возможные поражающие факторы, связанные с аварийными ситуациями на объекте хранения горючего (АЗС).
2. Проанализировать нормативные документы по размещению АЗС на территории населенного пункта и описать объект для анализа.
3. Построить математическую модель аварийных ситуаций, связанных с возникновением пожаров под действием теплового излучения с образованием огненных шаров.
4. Разработать и применить методики численных расчетов.
5. Провести расчет для определения безопасного расстояния для человека, учитывая степень поражения человека при воздействии опасного фактора, такого как тепловое излучение.

Используя данную работу появляется возможность для более подробного изучения процесса образования огненных шаров при аварийных ситуациях на объектах обращения с топливом, а также становится возможным рассмотреть воздействие теплового излучения на человека, здания и сооружения в зоне данного воздействия.

1.ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР

1.1Автозаправочные станции и их виды.

Автомобильная заправочная станция (АЗС) представляет собой комплекс, оборудованный для заправки транспортных средств топливом и расположенный вблизи дороги [1].

Рассматривая пожароопасный объект, такой как АЗС необходимо учитывать, к какому типу АЗС относится объект исследования.

Общепризнанная и общепринятая классификация АЗС приведена ниже:

1. Традиционная АЗС – автозаправочная станция, которая неподвижно и стационарно размещена на территории города и любого другого населенного пункта. Особенность устройства данной системы заключается в размещении на удалении друг от друга резервуаров топлива подземного типа и колонок, предназначенных для отпуска топлива [2].

2. Блочная АЗС – автозаправочная станция, также стационарно размещенная на территории города, но с совмещенной в виде технических блоков, выполненных в виде объединенного заводского изделия с элементами приема, хранения и отпуска топлива. Данная конструкция представляет собой подземный резервуар для хранения топлива и расположенные непосредственно над данным резервуаром колонки для отпуска топлива. Данный способ размещения элементов АЗС позволяет не только минимизировать площадь для размещения АЗС, но и наиболее оптимально скомпоновать все элементы АЗС [2].

3. Модульная АЗС (МАЗС) – автозаправочная станция, стационарно размещена на территории города с учетом невозможности устройства резервуаров для подземного хранения топлива из-за особенности территории, особенности грунтов, расположенных вблизи АЗС подземных городских коммуникаций. Особенность данного типа АЗС заключается в расположении и объединении системы из отдельных модулей, таких как модуль хранения

топлива с резервуаром надземного типа и элемента отпуска топлива с колонками [2].

4. Контейнерная АЗС (КАЗС) – автозаправочная станция, с временным типом размещения в зонах с кратковременной необходимостью в топливе для проведения разных типов работ, таких как строительство новых объектов. Особенность данного типа АЗС заключается в единой системе, расположенной на раме и представляющей собой контейнер для хранения топлива с элементом отпуска топлива [2].

5. Топливозаправочный пункт – автозаправочная станция, размещенная на территории определенного предприятия и используемая для обеспечения топливом транспортных средств этого предприятия [2].

6. Передвижная автозаправочная станция (ПАЗС) – автозаправочная станция, представляющая собой подвижную систему, используемую для продажи топлива. АЗС данного типа располагают на автомобильном шасси или прицепе [2].

7. Многотопливная автозаправочная станция (МТАЗС) – АЗС, имеющая в своем обращении несколько различных видов топлива, такие как бензины разных классов, дизельное топливо, сжиженные углеводородные газы [2].

8. Автомобильная газонаполнительная компрессорная станция (АГНКС) – АЗС, которые используют для заправки баллонов топливной системы автотранспорта сжатый природный газ [2].

9. Автомобильная газозаправочная станция (АГЗС) – автозаправочная станция, где возможная заправка топливных баллонов автотранспорта сжиженным углеводородным газом [2].

1.2 Основные пожаровзрывоопасные характеристики веществ и материалов, обращающихся на АЗС

На объекте АЗС используются различные виды топлива, такие как бензины, дизельное топливо, автомобильные масла, сжатый природный газ и сжиженные углеводородные газы (СУГ). Пожаровзрывоопасные характеристики этих веществ приведены ниже на основе справочных данных.

Бензины – жидкости с низкой температурой воспламенения, представляющие собой смесь легких углеводородов. При горении данный вид ЛВЖ прогревается в глубину, образуя растущий прогретый слой. Скорость нарастания гомогенного слоя 0,7 м/ч, с температурой 80–100°C, при этом температура пламени составляет 1200°C [3]. При горении пламя распространяется по поверхности зеркала разлива бензина в стандартных условиях со скоростью 10–15 м/сек., при впрыске с помощью форсунки достигает скорости 150–160 м/сек, при образовании горючей смеси паров ЛВЖ с воздухом скорость распространения пламени равна 1500–1800 м/сек [3]. Учитывая высокую скорость распространения пламени горение с большой силой разрушения переходит во взрыв, при этом давление, возникающее в момент взрыва, способно достигать до 1470 кПа (1,5 МПа), температура во время взрыва держится в пределах 1500–1800°C, а скорость распространения взрывной волны более 1500 м/сек. Если рассчитывать скорость выгорания бензина в объеме топлива без образования взрывной волны, она достигает 20–30 см/ч для бензина и 18–20 см/ч для дизельного топлива [3].

Если смесь паров нефтепродуктов и воздуха находится вне пределов зоны взрывоопасных концентраций, данная смесь не способна взорваться, но она остается потенциально огнеопасной, так как при контакте с источником открытого пламени она способна загораться.

Дизельное топливо – легковоспламеняющиеся или горючие жидкости. Показатели пожаровзрывоопасности данного вида топлива различных марок приведены в Приложении Б в таблице Б.1. Также физико-химические свойства бензинов и дизельных топлив приведены в Приложении Б в таблице Б.2 на основе данных ГОСТ 12.1.004-76. ССБТ [4].

Аварийные ситуации, связанные с высвобождением сжатого природного газа и сжиженного углеводородного газа, обладают определенными особенностями, характерными для данного типа веществ и связаны с основными физико-химическими свойствами и пожаровзрывоопасными показателями компонентов данных газов. Так как в основе состава природного газа есть метан, а компонентами сжиженного углеводородного газа является пропан и бутан, при нормальных условиях данные вещества являются газами без характерного цвета и запаха, что затрудняет обнаружение их утечек и раннее обнаружение аварии без последующих осложнений аварии. Для возможности проанализировать основные физико-химические свойства данных газов и показатели их пожаровзрывоопасности, приведены в Приложении Б в таблице Б.3.

1.3 Построение дерева событий

Для проведения анализа вероятности возникновения аварийных ситуаций на любом технологическом объекте производится разделение всего оборудования, систем, необходимых для технологического процесса на различные части – участки. Каждый участок в случае аварии с помощью герметизации отделяется от других участков технологической цепи для предотвращения распространения аварийной ситуации. Для анализа возможных аварийных ситуации производится оценка не только основного, но и дополнительного (вспомогательного) технологического оборудования, учитывается возможность возникновения пожара не в самом технологическом оборудовании, а, например, в зданиях администрации объекта, на складе или в других производственных помещениях. Для каждого

участка разрабатывается перечень характерных аварийных ситуаций с типичной моделью возникновения и развития аварии [6].

Проводя анализ аварийных ситуаций, которые напрямую связаны с процессом разгерметизации оборудования на производстве, особое внимание уделяют процессу истечения топлива при различных диаметрах истечения включая максимальный диаметр истечения при разрушении оборудования. После проведения анализа и выявления возможных аварийных ситуаций устанавливаются частоты их реализации и величины данных частот, для чего проводят анализ статистических данных по аварийности типовых объектов или производя расчет, используя показатели надежности технического оборудования, соответствующие специфике объекта оценки риска [6]. Необходимые для анализа риска данные о частоте возникновения аварийных ситуаций могут быть получены из отчетов о функционировании исследуемого объекта или других типовых объектов.

К возникновению аварийных ситуаций может привести процесс подготовки и проведения ремонтных и других работ по технологическому обслуживанию резервуаров с хранящейся ЛВЖ. При данных типах работ основную опасность представляют собой пиррофорные отложения железа, образовавшиеся под слоем нефтепродуктов, при соприкосновении с воздухом способные самовоспламеняться. При быстром сливе топлива из цистерн создаются оптимальные условия для вступления данных отложений в связь с кислородом с нагреванием данных отложений до температуры 500–700°C, что может стать причиной возгорания нефтепродуктов. В целях предотвращения данного сценария аварийной ситуации рекомендовано своевременно производить очистку резервуаров от пиррофорных отложений [7].

Для построения сценариев аварийных ситуаций и оценки частоты данных сценариев развития аварий широко используется метод "дерева событий". Данный метод основывается на статистике аварийных ситуаций и технологических отказов. Так, например, более точные статистические

записи процесса протекания аварийной ситуации обеспечивают необходимую для составления сценариев аварии информацию, способствуют анализу частоты возникновения событий. На основе статистических данные производится идентификация опасных факторов производственного объекта и производится оценка вероятности возникновения событий при реализации данных опасных факторов [8].

Для комплексной оценки риска производят анализ и расчет индивидуального, коллективного, экологического риска.

1.4 Частоты отказов основного технологического оборудования, используемого на АЗС

Основной проблемой, с которой сталкиваются при проведении анализа риска от пожаров, является определение численных вероятностей возникновения исходных событий, которые способны привести к аварийной ситуации для возможных аварийных ситуаций и возможности развития данной аварии по ветвям дерева событий [9]. Наибольшую трудность вызывает поиск необходимой информации, данных по отказам технологического оборудования на предприятиях. Отказом считается неспособность оборудования или элементов данного оборудования выполнять свои функции в результате конкретного события или причины [10].

Отказами считаются недостатки проектных решений, погрешность при изготовлении, ошибочные при эксплуатации и обслуживании, антропогенное воздействие на объект, в результате которого может произойти аварийная ситуация. Отказом для резервуаров, цистерн и трубопроводов считается их разгерметизация. В Приложении В в таблице В.1 приведены данные по частотам отказов различного оборудования.

Произведенный анализ частоты реализации событий, способных привести к аварийной ситуации приведен в Приложении В в таблице В.2.

Для оценки вероятности воспламенения перевозимых ЛВЖ в результате аварии с участием цистерны, транспортирующей данный вид топлива, в Приложении В в таблице В.3 приведены вероятности воспламенения данных веществ.

При этом, учитывая отсутствие данных, можно сделать допущение и считать вероятность мгновенного воспламенения вытекающего топлива равной 0,05.

Также в Приложении В в таблице В.4 приведены типовые частоты возникновения пожара на различных опасных производственных объектах.

Для различных предохранительных элементов (арматуры) резервуаров, аппаратов, обеспечивающих прекращение процесса подачи топлива в случае аварийной ситуации, элементов, обеспечивающих защиту установок путем обеспечения теплоизоляции и систему охлаждения, техническая надежность принимается равной 0,95.

1.5 Разгерметизация технологического трубопровода на эстакаде

В зависимости от особенности разгерметизации, различных окружающих условий аварии могут развиваться различными путями: в виде разливов, горения разливов, с взрывами при воспламенении паровоздушной смеси, с образованием огненных шаров на открытом пространстве.

Один из сценариев развития аварийной ситуации: разрушение (частичное или полное) технологического трубопровода или трубопроводной арматуры → поступление в окружающую среду взрывопожароопасной жидкости (в т.ч. жидкости в перегретом состоянии) → при наличии источника зажигания немедленное воспламенение, горение факела и/или пролива (при выбросе нескипающих (стабильных) жидкостей горящий факел образуется только на малых отверстиях разгерметизации, свищах) → в случае отсутствия источника зажигания истечение жидкости, при наличии перегрева жидкости происходит ее вскипание, образование парокapельной

смеси в атмосфере → образование и распространение разлива взрывопожароопасной жидкости, его частичное испарение, в случае если температура проливающейся жидкой фракции меньше температуры подстилающей поверхности, кипение пролива → образование взрывоопасной концентрации паров взрывопожароопасной жидкости в воздухе от испарения/кипения пролива, а при истечении перегретой жидкости и от вскипания выброса → дрейф облака ТВС → воспламенение паров ТВС при наличии источника загорания → возгорание или взрыв облака ТВС → пожар пролива топлива и, в случае свища, либо в случае выброса перегретой жидкости, горение факела → попадание людей и сооружений в зону таких поражающих факторов как тепловое излучение, открытое горение, токсичные продукты исходного выброса химических веществ либо продукты горения, воздействие давления → вовлечение других опасных веществ в процесс аварии при их нахождении на объекте → локализация пожара разлива и ликвидация [12].

Типовое «дерево событий» при разгерметизации участка трубопровода с взрывопожароопасной жидкостью приведено на рисунке 1.1.

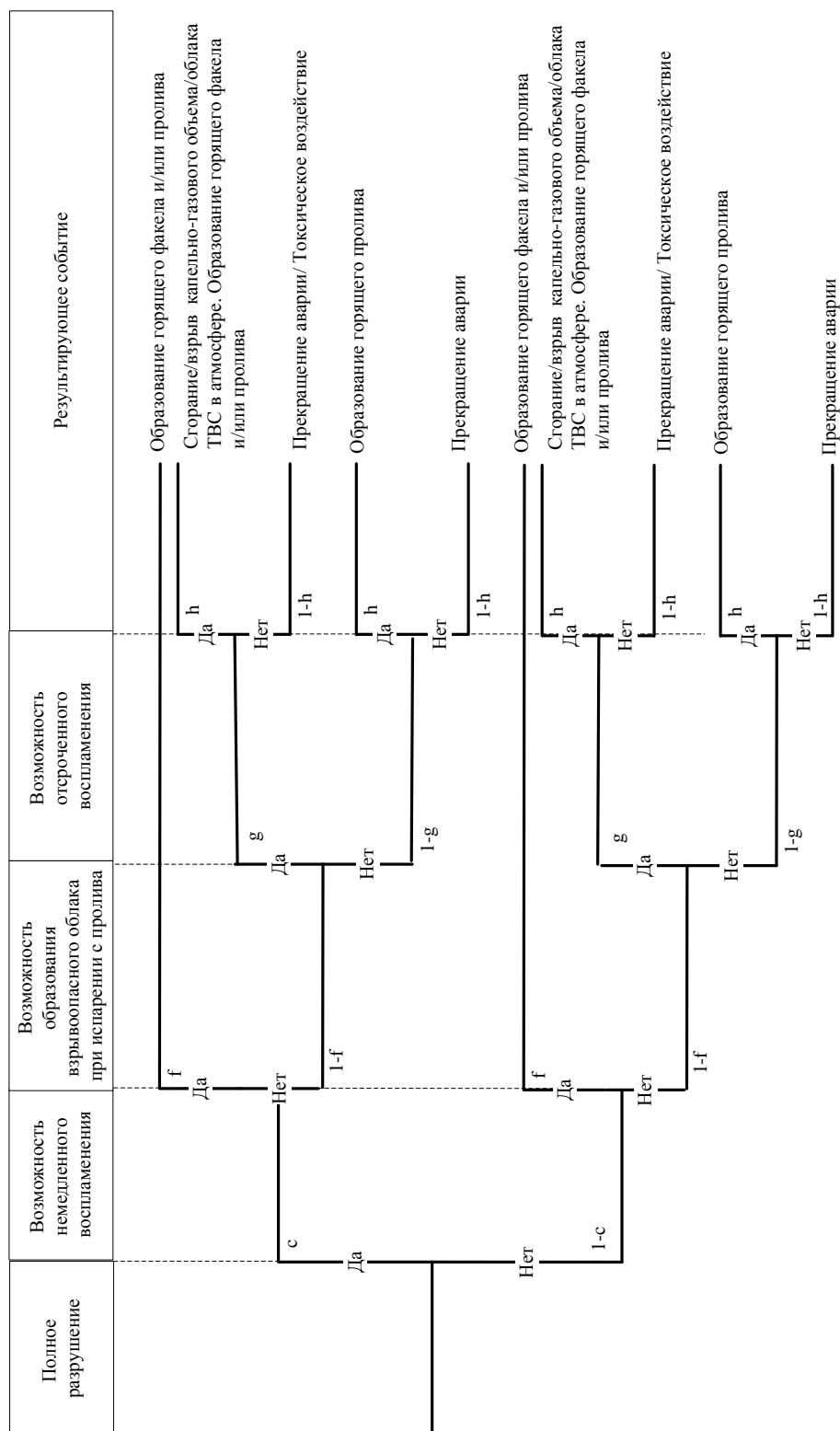


Рисунок 1.1 – Дерево событий при разгерметизации технологического трубопровода на эстакаде

При анализе сценариев аварийных ситуаций необходимо учитывать условия прокладки и размещения трубопроводов (подземный,

наземный/надземный, в тоннеле или в ином замкнутом/полузамкнутом пространстве, «труба в трубе»).

На рисунке 1.1 принимаются следующие условные вероятности событий:

а) полный разрыв трубопровода (с);

б) мгновенное воспламенение (f) – 0,065;

в) образование в результате испарения с пролива пожароопасной жидкости взрывоопасного облака паров (g) – для взрывопожароопасных жидкостей с давлением насыщенных паров менее 10 кПа – 0, в остальных случаях – 1;

г) отсроченное воспламенение (h).

Указанные вероятности события подвергаются корректировке при различных дополнительных решениях, которые направлены на уменьшение риска аварийных ситуаций.

На рисунке 1.1 (и на остальных рисунках «деревьев событий») отсутствуют ветви, которые обозначают действия по тушению или ликвидации пожара и возгорания. Данная ветвь образуется в результате следующих действий:

а) прекращение горения в случае успешных действий по его тушению;

б) продолжение пожара при неудачных действиях по его тушению.

Данное ответвление необходимо учитывать при анализе условных вероятностей конечных аварийных событий, для этого необходимо умножить соответствующие условные вероятности события на условную вероятность успешности тушения горения. Данные действия необходимо выполнить для каждой ветви «дерева событий», на которой возможно применить данную операцию [12].

1.6 Сход/ разрушение цистерны (группы цистерн), содержащей продукт при атмосферном давлении

Сценарий развития аварийной ситуации при сходе цистерны: частичное или полное разрушение цистерны, группы цистерн (в случае их схода) со

взрывопожароопасной жидкостью (жидкость находится при атмосферном давлении) → поступление взрывопожароопасной жидкости (жидкой фазы и паров) в окружающую среду → истечение и разлив взрывопожароопасной жидкости → при наличии источника зажигания воспламенение и пожар разлива → в случае отсутствия мгновенного воспламенения частичное испарение взрывопожароопасной жидкости → образование смеси взрывоопасных паров и кислорода → распространение разлива и взрывопожароопасного облака смеси → попадание облака ТВС или разлитой взрывопожароопасной жидкости в зону нахождения источника зажигания → возгорание или взрыв облака взрывопожароопасной смеси → попадание людей и сооружений в зону таких поражающих факторов как тепловое излучение, открытое горение, токсичные продукты исходного выброса либо продукты горения, воздействие давления → образование условий для взрыва цистерн, изначально не участвующих в аварийной ситуации, образование на них огненного шара при их перегреве и разрушении → локализация и ликвидация разлива (пожара) [12].

Следует отметить, что образование огненного шара на цистернах следует рассматривать только для жидкостей с температурой начала кипения менее +60-65 С.

«Дерево событий», отображающий сценарий аварийной ситуации с последующим разрушением цистерны (группы цистерн) приведено на рисунке 1.2. Конечные ветви «дерева событий», отмеченные словом «Прекращение аварии», если в данных сценариях присутствует процесс горения сопровождаются воздействиями, которые приведены выше в сценарии аварийной ситуации.

Если данная авария связана с дополнительным выбросом горючей жидкости из цистерны или приводит к образованию новых очагов горения в цистерне, то данная ветка на приведенном «дереве событий» становится начальной точкой для нового «дерева событий» развития аварии.

в) образование двигающегося облака смеси (е) – для взрывопожароопасных жидкостей с давлением насыщенных паров менее 10 кПа – 0, в остальных случаях – 1;

г) отложенное воспламенение (g) – в зависимости от распределения источников возгорания.

Указанные вероятности события подвергаются корректировке при различных дополнительных решениях, которые направлены на уменьшение риска аварийных ситуаций.

1.7 Воспламенение цистерны при наливе взрывопожароопасной жидкости

При сливо-наливных операциях опасное вещество может поступать в окружающую среду как из цистерны так и из технологических трубопроводов.

Частичное или полное разрушение технологического трубопровода, отрыв трубопроводов → поступление стабильной (невскипающей) взрывопожароопасной жидкости в окружающую среду → при наличии источника зажигания немедленное воспламенение, горение пролива, и/или при выбросе на малых отверстиях разгерметизации, свищах горение факела → в случае отсутствия немедленного источника зажигания образование и распространение разлива легковоспламеняющейся жидкости, частичное испарение пролива → образование концентрации паров взрывопожароопасной жидкости в воздухе от испарения пролива, способной привести к взрыву → дрейф облака ТВС → воспламенение паров ТВС при присутствии источника возгорания → сгорание или взрыв облака ТВС → пожар разлива и, в случае свища, либо в случае выброса перегретой жидкости, горение факела → попадание людей и сооружений в зону таких поражающих факторов как тепловое излучение, открытое горение, токсичные продукты исходного выброса либо продукты горения, воздействие давления → образование условий для взрыва цистерн,

изначально не участвующих в аварийной ситуации, образование на них огненного шара при их перегреве и разрушении → локализация и ликвидация разлития (пожара).

«Дерево событий» для сценария с воспламенением цистерны при сливе-наливе взрывопожароопасной жидкости приведено на рисунке 1.3.

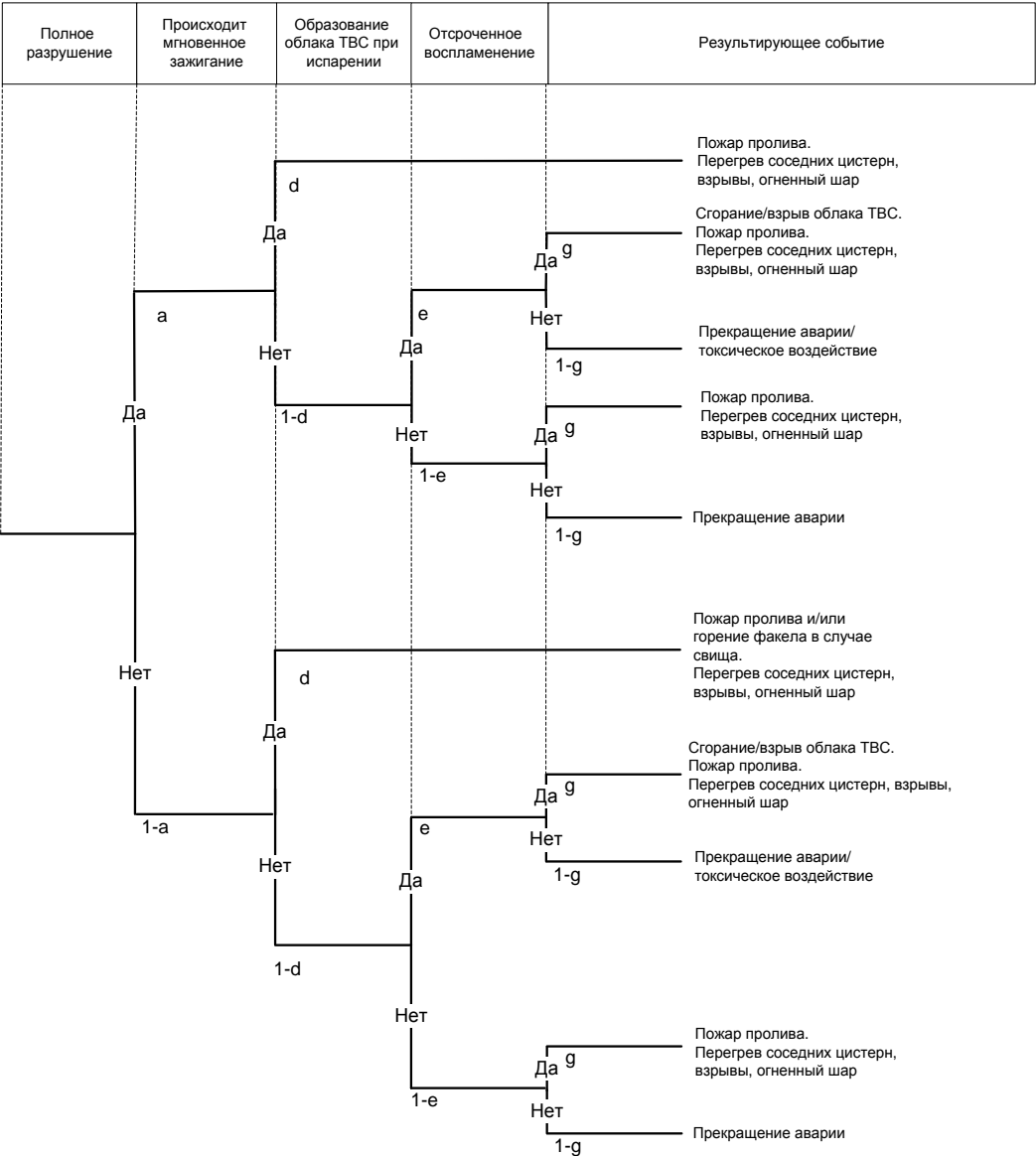


Рисунок 1.3 – Дерево событий для сценария с воспламенением цистерны при сливе-наливе взрывопожароопасной жидкости

Рисунок 1.3 «Дерево событий» для сценария с воспламенением цистерны при сливе-наливе взрывопожароопасной жидкости принимаются следующие вероятности происхождения событий:

- а) полное разрушение;
- б) мгновенное воспламенение и образование горящих проливов (d) – 0,1 для частичного разрушения цистерны; 0,4 – для полного разрушения автомобильной цистерны, 0,8 – для полного разрушения железнодорожной цистерны;
- в) образованиедвигающегося облака топливно-воздушной смеси (e) – для взрывопожароопасных жидкостей при давлении насыщенных паров менее 10 кПа – 0, в остальных случаях – 1;
- г) отложенное воспламенение (g) – в зависимости от распределения источников возгорания.

Указанные вероятности события подвергаются корректировке при различных дополнительных решениях, которые направлены на уменьшение риска аварийных ситуаций.

1.8 Оценка опасных факторов аварий с пожарами

Основными поражающими факторами аварий резервуаров и газопроводов являются:

1. ударная волна от взрывов облаков газовоздушных (топливовоздушных) смесей в открытом пространстве;
2. тепловое излучение при возгорании на газопроводе или в резервуаре;
3. наличие зоны загазованности и токсичности;
4. элементы конструкций, которые образуются в результате разрушении зданий, сооружений, технологического оборудования;
5. обломки от стекол.

Оценка зон воздействия поражающих факторов основывается на разработке математических моделей определения параметров не только непосредственно поражающих факторов аварий, но и приводящих к возникновению данного воздействия явлений, например, характер поведения опасных веществ в окружающем пространстве.

Для анализа опасных факторов аварийных ситуаций с пожарами следует учитываются физические явления, которые протекают при данных авариях. Анализ проводится при использовании математического моделирования данных физических явлений. Наибольшее внимание при проведении анализа необходимо уделить следующим процессам, которые могут быть следствием аварийных ситуаций [13]:

- вытекание топлива из отверстия в цистерне или трубопроводе;
- высвобождение сжатого газа из отверстия в трубопроводе;
- двухфазное вытекание топлива из отверстия в цистерне;
- распространение и образования пролива топлива при нарушении целостности устройств;

- выброс сжатого газа при разрушении технического оборудования;
- образование зон загазованности;
- возгорание газовой смеси на открытом пространстве;
- нарушение целостности сосуда с перегретой ЛВЖ, горючей жидкостью или сжиженным горючим газом;
- высвобождение теплового излучения при пожаре разлива или при горении огненного шара;
- образование пожара-вспышки;
- образование и разлет осколков оборудования при их разрушении;
- процесс испарения жидкости с зеркала разлива;
- образование газовой смеси облака;
- сгорание газовой смеси облака в производственном помещении или внутри технического оборудования;
- пожар в производственном помещении;
- факельное возгорание при горении струи ЛВЖ или сжиженного газа;
- тепловое воздействие от нагретых элементов оборудования;
- закипание и выброс горящего топлива при возгорании его в цистерне.

При проведении анализа последствий аварийных ситуаций с пожарами необходимо сравнить величины опасных факторов пожара с критериями поражения, данными опасными факторами населения, сооружений и технологического оборудования. Так для оценки пожарного риска используют вероятностные критерии поражения населения и объектов экономики опасными факторами пожара. Детерминированные критерии применяют при невозможности использовать вероятностные критерии.

Детерминированные критерии определяют значения параметров опасного фактора, при которых происходит поражение населения и объектов экономики на различном уровне. Для детерминированных критериев, если

значение данного критерия выше предельного уровня, условная вероятность поражения принимается равной 1, и, если значение ниже предельно допустимого уровня, то условная вероятность применяется равная 0 [13].

Вероятностные критерии определяют условную вероятность поражения населения и объектов экономики при известном, заданном значении опасного фактора пожара.

Данные критерии оценки поражающего воздействия ударной волны и теплового излучения для населения и объектов экономики приведены в следующем разделе работы.

1.9 Критерии поражения людей, зданий и оборудования опасными факторами аварии с пожарами и взрывами

При авариях на промышленном объекте, приводящих к пожарам и взрывам, основными поражающими факторами являются ударная волна, тепловое излучение и воздействие осколков оборудования при взрывах технологических элементов оборудования [13].

Далее приведены различные типы подхода к расчетам критериев поражения перечисленными поражающими факторами населения, оборудования и других объектов экономики.

1.9.1. Детерминированные критерии оценки поражающего действия ударной волны

Данные критерии приближенно определяют значения параметров ударной волны, для которых характерен различная степень поражения населения или объекта экономики.

Для анализа степени разрушения различных объектов ударной волной принято использовать так называемые P/i диаграммы. При краткосрочных импульсных воздействиях используют критические значений импульса i ударной волны, для длительного воздействия, которые возникают при взрывах газозоудшных облаков – критические значения избыточного давления ΔP положительной фазы ударной волны. Воздействие волны на

конструкции обусловлено значением величины τ/T , где τ – время воздействия положительной фазы ударной волны, T – период собственных колебаний сооружения. При $\tau/T > 2,5$ воздействие определяется величиной ΔP , при $\tau/T < 0,1$ – импульсом ударной волны [13].

1.9.2. Вероятностные критерии оценки поражающего действия УВ

Вероятностные критерии определяют условную вероятность для различного уровня разрушения при известном значении одного из поражающих факторов. В качестве данного критерия поражения населения и разрушения сооружений используется понятие пробит-функции Pr , которая описывается выражением [13]:

$$Pr = a + b \ln S, \quad (1)$$

где a, b – константы, зависящие от степени поражения и вида объекта;
 S – степень воздействия фактора.

1.9.3. Детерминированные критерии оценки поражения тепловым излучением

Проводя анализ воздействия на человека или объект теплового излучения, следует определить случаи импульсного или длительного воздействия представлен в данной ситуации. При импульсном типе воздействия, таком как при образовании огненного шара, необходимо рассчитывать дозу излучения D , в случае с длительным воздействием теплового излучения при пожаре разлива необходимо учитывать критическую интенсивность теплового излучения q_{CR} [13].

1.9.4. Вероятностные критерии оценки поражения тепловым излучением

В качестве вероятностного критерия оценки поражения тепловым излучением необходимо применять описанную ранее пробит-функцию. Например, для смертельного уровня поражения человека величина пробит-функции рассчитывается [14] по следующему выражению (2):

$$Pr = -14,9 + 2,56 \ln(D), \quad (2)$$

$$D = tq^{4/3}, \quad (3)$$

Величина эффективного времени экспозиции t для огненного шара вычисляется по формуле (4):

$$t = 0,92m^{0,303}, \quad (4)$$

1.10 Рекомендации по снижению риска аварии на объектах, занимающихся реализацией взрывопожароопасных жидкостей

В соответствии с ГОСТ 12.3.00275 [15] безопасность процесса производства обеспечивается за счет выбора режима для технологического оборудования, выбора строения устройства и его расположения, профессиональным тестированием и подготовкой сотрудников.

Весь производственный процесс, заключающийся в приеме, хранении и отпуске нефтесодержащих продуктов на АЗС должен осуществляться по непрерывной цепи в оборудовании, без контакта сотрудников с нефтепродуктами, при полной герметизации. Все цистерны с нефтепродуктами должны размещаться на специально оборудованной площадке автозаправочной станции под землей. Электрооборудование необходимо использовать с взрывозащищенным исполнением, а также необходимо обеспечить управление процессом производства путем автоматического управления с использованием щита управления в операторной [7]. При выявлении более опасных нарушений в технологическом процессе должна быть предусмотрена аварийная сигнализация, по всей территории АЗС должны располагаться рупоры и усилители звука для оповещения персонала по громкой связи.

Основные технологические и методические мероприятия, обеспечивающие безопасное проведение технологического процесса приведены ниже [7]:

1. Необходимость разработки рекомендаций для уменьшения риска аварийных ситуаций обусловлена разделением участков линейных объектов, занимающихся транспортировкой взрывопожароопасных жидкостей, по классу опасности и определяется имеющимися ресурсами на внедрение

второстепенных мероприятий по обеспечению безопасности технологического и организационного характера.

2. Все рекомендации по уменьшению уровня риска аварийных ситуаций представляются в виде проектных решений или мероприятий по обеспечению безопасности технологического и организационного характера.

3. Для того, чтобы поверить эффективность предлагаемых мер, решают следующие задачи по оптимизации процесса:

а) учитывая имеющиеся ресурсы на реализацию мероприятий, выбирают ту группу мер, которая приводит к большему уменьшению уровня риска аварийной ситуации на опасном производственном объекте;

б) снижая затраты на реализацию мероприятий, выбирают наиболее подходящую группу мер безопасности, обеспечивающих уменьшение уровня риска аварийных ситуаций до значений, исключающих долгосрочную эксплуатацию наиболее опасных участков опасного производственного объекта.

4. В условиях риск-ориентированного подхода к обеспечению безопасности на ОПО можно определить две группы мероприятий по обеспечению безопасности: организационно-технические, которые направлены на снижение вероятности аварийных ситуаций и меры, направленные на уменьшение серьезности последствий аварийных ситуаций.

5. Мероприятия, которые способствуют снижению вероятности возникновения аварии, включают в себя следующие меры:

а) меры, снижающие вероятность возникновения аварийного события;

б) меры, снижающие вероятность перехода события в аварийную ситуацию с появлением различных поражающих факторов, характерных для аварии.

6. Мероприятия, приводящие к снижению тяжести последствий аварийных ситуаций имеют следующие направления:

а) меры, которые предусматриваются при создании проекта опасного объекта;

б) меры, которые относятся к превентивным мероприятиям, таким как системы противоаварийной защиты и контроля технологического оборудования;

в) меры, которые оценивают готовность эксплуатирующей организации и сотрудников данного производства к локализации и ликвидации последствий аварий.

7. Среди технологических решений, которые направлены на предупреждение аварийных ситуаций с выбросом опасных веществ на линейных объектах, которые транспортируют ЛВЖ, следует отметить следующие:

- использование при строительстве объекта материалов повышенной прочности, увеличение толщины стенки цистерн и трубопроводов;
- применение кожухов для защиты;
- увеличение частоты диагностики, проведения испытаний на определение прочности и герметичности цистерн;
- увеличение чувствительности и надежности систем контроля технологических процессов и блокировок.

8. Среди решений, которые направлены на снижение тяжести последствий аварийных ситуаций, выделяют следующие:

- регламентирование безопасных расстояний до мест скопления персонала и сокращение времени экспозиции сотрудников в опасной производственной зоне;
- устройство сооружений, способных обеспечить ограничение площади возможных аварийных разливов топлива;
- решения по планированию технологической зоны для исключения развития аварийной ситуации по принципу «домино»;
- повышение уровня взрывозащищенности сооружений на территории опасного производственного объекта;
- обустройство технического оборудования датчиками загазованности среды;

– обеспечение информирования сотрудников объекта о возможности возникновения аварийной ситуации.

2. ОБЪЕКТ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

2.1 Моделирование аварийной ситуации

Согласно проведенного анализа на территории г. Томск расположено около 100 АЗС, большая часть из них используют резервуары подземного типа, т.к. при их использовании есть возможность увеличить объем хранящегося топлива на территории АЗС и сократить расстояние от АЗС до ближайших построек, жилых и технических сооружений.

Увеличить объем хранящегося топлива можно согласно НПБ 111-98* Автозаправочные станции. Требования пожарной безопасности [16], который регламентирует объем резервуара только для надземного типа устройства АЗС, так общий объем хранящегося топлива не должен превышать 40 м³ при размещении на территории населенного пункта и 60 м³ при размещении вне населенного пункта. Этим же документом регламентируется безопасное расстояние, которое необходимо выдерживать при планировке и построении АЗС, данные приведены ниже в таблице 2.1.

Таблица 2.1 – Расстояние от АЗС до различных объектов

Наименование объектов, до которых определяется расстояние	Расстояние от АЗС с подземными резервуарами, м	Расстояние от АЗС с надземными резервуарами, м
Производственные, складские, административные помещения	15	25
Жилые и общественные здания	25	50
Места массового пребывания людей	25	50
Индивидуальные гаражи и открытые стоянки	18	30
Торговые киоски	20	25
Автомобильные дороги общей сети	12	20

2.2 Описание объекта исследования

На типовой АЗС с надземным типом хранения размещаются резервуары – по одному для 4 типов бензинов и 1 для хранения дизельного топлива, объем каждого резервуара 50 м^3 – общий объем хранящейся и отпускаемой ЛВЖ – 250 м^3 .

Возможные сценарии аварийных ситуаций приведены в виде дерева событий в Приложении Г: разгерметизация оборудования, образование разлива топлива, образование концентраций, способных привести к взрыву в изолированном объеме, возгорание разлива.

Для моделирования аварийной ситуации составим следующий сценарий: в следствии нарушения герметичности одного из элемента оборудования, трубопровода, произошла утечка ЛВЖ, образование пролива в поддоне и сток пролива в смотровую с последующим воспламенением и горение разлития. В результате пожара разлива тепловое излучение оказывает воздействие на цистерну, нарушая ее целостность, приводя к мгновенному разрушению емкости и образованию огненного шара.

Учитывая расстояние расположения АЗС от объектов, рассчитав радиус огненного шара и степень его воздействия на человека и объект экономики, проведем анализ безопасности расположения АЗС на территории населенного пункта на рассчитанных расстояниях.

Под действием тепловых потоков, которые способны увеличить степень нагрева цистерны, например, от открытого горения разлива от другой цистерны, или от иного источника теплоты, достаточного для возгорания смеси, происходит нагрев сжиженных углеводородных газов (СУГ) в цистерне с увеличением давления. Причем необходимо учитывать, что воздействие источника теплоты на пространство, находящееся выше уровня сжиженных углеводородных газов в резервуаре, более опасно, так как теплоемкость жидкой фазы выше теплоемкости газообразной. Целостность оболочки цистерны может нарушиться под воздействием давления газа,

которое будет меньше расчетного, что приведет к эффекту «домино». Каскадное развитие аварии – это такой сценарий протекания аварийной ситуации, в котором поражающие факторы аварии выходят за пределы аварийного участка и задействует в процессе аварии элементы неаварийного участка, вовлекая в процесс опасное вещество, обращающиеся на неаварийном участке. Изменение расположения спектра любых пожароопасных аварийных ситуаций, ведущее к самым худшим результатам, таким как ОШ, дрейф или загазованность, присущи «Эффекту домино» [17].

Перспективным считается применение методов математического моделирования, которые построены на результатах изучений турбулентных течений и горения, радиационного теплопереноса. В результате математического моделирования теоретические модели могут обеспечить надежные данные, которые позволяют оценить все возникающие процессы и их особенности их протекания [17].

В большей части экспериментальных моделей определенное внимание уделяют изучению интегральных характеристик огненного шара – максимальный диаметр образовавшегося облака – D_s , максимальное время существования огненного шара – t_s , а также зависимость данных переменных от массы топлива в огненном шаре.

Существуют общепринятые и часто применяемые подходы для создания модели горения огненного шара, но кинетическая система турбулентного горения газов в объеме огненного шара остается изучена не до конца. В основной массе экспериментальных и теоретических моделей горения газовых смесей расценивается повышение скорости турбулентного течения согласно сравненной с нормальной скоростью ламинарного горения, которая принимается как стандартная характеристика горючих газовых смесей [17].

Анализ базовых результатов изучения воздействия разных физико-химических факторов на стандартную скорость распространения пламени нужен для построения физических и математических моделей горения ОШ.

Основными факторами являются первоначальный разогрев смеси и концентрация горючего и окислителя.

Высококачественное горение газов в объеме огненного шара можно объяснить воздействием физико-химических условий на стандартную температуру горения, что приводит к следующим выводам:

- учитывая то, что все углеводородные воздушные смеси имеют схожие кинетические характеристики химических превращений, а также равную температуру и скорость распространения пламени, то огненный шар зависит только от массы выброшенного горючего;
- на скорость горения горючего в огненном шаре и изменение его геометрических размеров главное воздействие осуществляет концентрация горючего и его температура.

При рассмотрении теоретических моделей горения газов в огненном шаре сложный внутренний состав исследуется при использовании моделей и методов, применяемых в гидродинамике конвекционных течений и теории радиационного переноса. В соответствии с данным подходом, скорость горения лимитируется процессом турбулентного смешивания составляющих горючей смеси, когда химическая реакция является безгранично быстрой [17]. Моделью дробления турбулентных вихрей можно описать темп турбулентного горения, что означает скорость использования топлива ограничивается процессами турбулентного смешения компонентов, в тот момент, когда химическая реакция будет высокоскоростной. Реакция подразумевается необратимой и с одной стадией, скорость образования и скорость потребления компонентов связаны со скоростью горения W массовыми стехиометрическими коэффициентами.

2.3 Физическая постановка задачи

Пусть источник тепловой энергии находится на высоте H от поверхности Земли, учитывая, что его размеры малы по сравнению с радиусом Земли, можно принять его за точечный источник излучения.

На верхнюю границу $z=h$ строения действует интенсивный тепловой поток $q_R(r,t)$ [17], который ослабляется по мере удаления от эпицентра O . Максимум интенсивности источника достигается при $t=t_o$, далее она затухает до нуля согласно данным о $q_R(r,t)$, которая может быть аппроксимирована следующим образом (5):

$$q_R(r,t) = \frac{t_p * P_m * \sin L}{4\pi D^2}, \left\{ \frac{t}{t_m}, t < t_m \mid \exp(-k_0(\frac{t}{t_m} - 1)), t \geq t_m \right\}, \quad (5)$$

Здесь t_p – коэффициент пропускания атмосферы;

P_m – максимальная величина светового импульса в момент времени t_m , Дж/с;

$$P_m = 450 * 10^3$$

L – угол между направлением вектора плотности потока излучения и верхней границей строения;

D – расстояние от центра источника излучения строения, м;

t_m – время максимума тепловыделения источника излучения, с; $t_m = 0.92 * m^{0.1}$,

k_0 – аппроксимационный коэффициент ($k_0 = 0.75$).

Воздействие теплового потока на строение вызывает нагревание горючих материалов, испарение влаги и последующее термическое разложение твердого материала, из которого выполнено строение, с выделением летучих продуктов пиролиза.

Затем продукты пиролиза сгорают в атмосфере, взаимодействуя с кислородом воздуха, учитывая наличие силы тяжести, нагретый воздух начинает подниматься вверх, и ввиду того, что на границах от эпицентра огненного шара интенсивность теплового потока в направлении строения мала, то процесса возгорания не происходит. Таким образом, за время действия источника излучения формируется зона первоначального зажигания строения радиусом r и в идеальном случае она имеет форму круга [17].

Для целей данного исследования будем считать, что скорость ветра в атмосфере относительно мала и энергия в основном переносится благодаря излучению. Данное допущение позволяет рассматривать задачу в осесимметричной постановке. Кроме данного допущения в работе также

указаны основные физические допущения и представления об объекте исследования, необходимые для построения математической модели. Считается, что:

- течение симметрично относительно вертикальной оси z , имеющей начало в центре рассматриваемой области и направленной вертикально вверх;
- течение имеет развитый турбулентный характер;
- плотность газовой фазы не зависит от давления из-за малой скорости течения по сравнению со скоростью звука,
- материалы, из которых построено строение, считается недеформируемой средой.

Также дополнительно предполагаем, что данное строение можно моделировать однородной двухтемпературной многофазной реагирующей средой. Выделяется температура конденсированной T_s и газовой T фаз. К первой относится сухое органическое вещество, влага, конденсированные продукты пиролиза и минеральная часть горючих материалов. В газовой фазе будем выделять только необходимые для описания реакции горения компоненты, то есть массовые концентрации c_α ($\alpha=1$ – кислород, 2 – горючие продукты пиролиза, 3 – остальные инертные компоненты, включая пары воды). Твердая фаза, представляющая горючий материал, воду в жидко-капельном состоянии и конденсированные продукты пиролиза, не имеет собственной скорости и ее объемной долей, по сравнению с газовой фазой, можно пренебречь в соответствующих уравнениях, так как в единице объема материала для данного строения находится <0.5 кг. С точки зрения гидродинамики, данная пористая среда, тем не менее, оказывает сопротивление с силой любому перемещению воздушных масс. Считается, что среда находится в термодинамическом равновесии [17].

2.4 Математическая постановка задачи

Направим ось z вертикально вверх, ось r – вдоль поверхности земли. Для описания процессов тепломассопереноса в объеме используются общие законы сохранения для многофазной среды. Поскольку любое перемещение воздушных потоков в атмосфере носит турбулентный характер, то для их описания используются уравнения Рейнольдса. Сформулированная задача в цилиндрической системе координат сводится к решению следующих уравнений [18]:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} (r \rho v) + \frac{\partial}{\partial z} (\rho w) = Q, \quad (6)$$

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho v) + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} (r \rho v^2) + \frac{\partial}{\partial z} (\rho v w) = -\frac{\partial p}{\partial r} + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} (-r \rho \overline{v'^2}) + \frac{\partial}{\partial z} (-\rho \overline{v' w'}) - \rho s c_d v \sqrt{v^2 + w^2}, \quad (7)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial t} (\rho w) + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} (r \rho v w) + \frac{\partial}{\partial z} (\rho w^2) = -\frac{\partial p}{\partial z} + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} (-r \rho \overline{v' w'}) + \\ + \frac{\partial}{\partial z} (-\rho \overline{w'^2}) - \rho s c_d w \sqrt{v^2 + w^2} - \rho g, \end{aligned} \quad (8)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial t} (\rho c_p T) + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} (r \rho v c_p T) + \frac{\partial}{\partial z} (\rho w c_p T) = \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} (-r \rho c_p \overline{v' T'}) + \frac{\partial}{\partial z} (-\rho \overline{w' c_p T'}) + \\ + k_g (c U_R - 4 \sigma T^4) + q_5 R_5 + \alpha_v (T_s - T), \end{aligned} \quad (9)$$

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho c_\alpha) + \frac{\partial}{\partial z} (\rho w c_\alpha) = \frac{\partial}{\partial z} (-\rho \overline{w' c'_\alpha}) - R_{5\alpha}, \alpha = 1, 2, \quad (10)$$

$$\frac{\partial}{\partial z} \left(\frac{c}{3k} \frac{\partial U_R}{\partial z} \right) - k c U_R + 4 k_g \sigma T^4 + 4 k_s \sigma T_s^4 = 0, \quad (11)$$

$$\sum_{i=1}^4 \rho_i c_{pi} \phi_i \frac{\partial T_s}{\partial t} = q_3 R_3 - q_2 R_2 + k_s (c U_R - 4 \sigma T_s^4) + \alpha_v (T - T_s); \quad (12)$$

$$\rho_1 \frac{\partial \phi_1}{\partial t} = -R_1, \rho_2 \frac{\partial \phi_2}{\partial t} = -R_2, \rho_3 \frac{\partial \phi_3}{\partial t} = \alpha_c R_1 - \frac{M_c}{M_1} R_3, \rho_4 \frac{\partial \phi_4}{\partial t} = 0; \quad (13)$$

$$\sum_{\alpha=1}^3 c_\alpha = 1, p_e = \rho R T \sum_{\alpha=1}^3 \frac{c_\alpha}{M_\alpha}, \quad (14)$$

$$\dot{m} = (1 - \alpha_c) R_1 + R_2 + \frac{M_c}{M_1} R_3, R_{51} = -R_3 - \frac{M_1}{2 M_2} R_5, R_{52} = \nu (1 - \alpha_c) R_1 - R_5, \quad (15)$$

$$\begin{aligned}
R_1 &= k_1 \rho_1 \varphi_1 \exp\left(-\frac{E_1}{RT_s}\right), \quad R_2 = k_2 \rho_2 \varphi_2 T_s^{-0.5} \exp\left(-\frac{E_2}{RT_s}\right), \\
R_3 &= k_3 \rho \varphi_3 s_\sigma c_1 \exp\left(-\frac{E_3}{RT_s}\right), \\
R_5 &= M_2 k_5 \left(\frac{c_1 M}{M_1}\right)^{0.25} \left(\frac{c_2 M}{M_2}\right) T^{-2.25} \exp\left(-\frac{E_5}{RT}\right)
\end{aligned} \tag{16}$$

Начальные условия [18]:

$$\begin{aligned}
t=0, w=0, T=T_e, c_\alpha=c_{\alpha e}, T_s=T_e, \varphi_i=\varphi_{ie}; \\
z=z_0: \frac{\partial w}{\partial z}=0, \frac{\partial T}{\partial z}=0, \frac{\partial c_\alpha}{\partial z}=0, -\frac{c}{3k} \frac{\partial U_R}{\partial z} + \frac{c}{2} U_R=0; \\
r=0: v=0, \frac{\partial w}{\partial r}=0, \frac{\partial T}{\partial r}=0, \frac{\partial c_\alpha}{\partial r}=0, \frac{\partial U_R}{\partial r}=0; \\
r=r_e: \frac{\partial v}{\partial r}=0, \frac{\partial w}{\partial r}=0, \frac{\partial T}{\partial r}=0, \frac{\partial c_\alpha}{\partial r}=0, \frac{c}{3k} \frac{\partial U_R}{\partial r} + \frac{c}{2} U_R=0; \\
z=z_e: \frac{\partial v}{\partial z}=0, \frac{\partial w}{\partial z}=0, \frac{\partial T}{\partial z}=0, \frac{\partial c_\alpha}{\partial z}=0, \frac{c}{3k} \frac{\partial U_R}{\partial z} + \frac{c}{2} U_R=2q_R(r, z)
\end{aligned} \tag{18}$$

где r и z - координаты, z – ведет отсчет от напочвенного покрова, а r ведет отсчет от оси симметрии; $R_1 - R_5$, $R_{5\alpha}$ – массовые скорости пиролиза горючих материалов, испарения влажности, горения конденсированных и летучих продуктов пиролиза, таких как сажа и пепел, так же образуется α – компоненты газодисперсной фазы; c_{pi} , ρ_i , φ_i – удельная теплоемкость, истинная плотность и объемная доля i -ой фазы (1 – сухое органическое вещество, 2 – вода в жидко-капельном виде, 3 – конденсированные продукты пиролиза, 4 – минеральная часть, 5 – газовая фаза); T , T_s – температуры газовой и конденсированной фаз; c_α – массовая концентрация ($\alpha=1 - O_2$, 2 – оксид углерода, 3 – инертные компоненты газовой фазы); P – давление; U_R – плотность энергии излучения; σ – постоянная Стефана-Больцмана; k – коэффициент ослабления излучения; k_g , k_s – коэффициенты поглощения для газодисперсной и конденсированной фаз; α_V – коэффициент обмена фаз, q_i , E_i , k_i – тепловой эффект, энергия активации и пред экспонент реакции пиролиза, улетучивания, горения кокса и летучих продуктов пиролиза; s_σ – удельная поверхность элемента лесных горючих материалов; M_α , M_c , M –

молекулярные веса индивидуальных компонентов газовой фазы, углерода и воздушной смеси; s , s_d – удельная поверхность горючего вещества и эмпирический коэффициент сопротивления; c – скорость света; w – проекция скорости на ось z ; α_c , ν – коксовое число и массовая доля горючих газов в массе летучих продуктов пиролиза; \dot{m} – массовая скорость образования газодисперсной фазы. Индексы "o" и "e" относятся к значениям функций в очаге горения и на большом расстоянии от зоны пожара соответственно. Данный индекс " ' " принадлежит пульсационной составляющей этой величины [19].

2.5 Численный метод решения

Обобщенному закону сохранения подчиняются дифференциальные уравнения, которые описывают процессы тепло-массообмена и гидродинамики. Если обозначить любую искомую функцию Φ , то обобщенное дифференциальное уравнение принимает в тензорной форме вид [20]:

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho\Phi) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho v_i\Phi) = \frac{\partial}{\partial x_i} \left(\Gamma_\Phi \frac{\partial \Phi}{\partial x_i} \right) + S, \quad i=1,2, \quad (19)$$

где t , x_i – временная и пространственные координаты, ρ – плотность, v_i – компоненты вектора скорости, Γ_Φ – коэффициент переноса (например, Γ_Φ — коэффициент турбулентной вязкости, теплопроводности, диффузии и т.д.), S — источниковый член. За счет химических реакций в уравнении энергии в S может входить приток тепла, увеличение или уменьшение концентраций компонент в результате химических реакций в уравнении диффузии. Конкретный вид Γ_Φ и S зависит от смысла переменной Φ . Начальные и граничные условия для уравнения записываются следующим образом:

$$\Phi|_{t=0} = \Phi_e, \quad \alpha_1 \frac{\partial \Phi}{\partial x} \Big|_{x=x_e} + \alpha_2 \Phi \Big|_{x=x_e} = \alpha_3, \quad (20)$$

здесь α_i – функция аргументов t и x – значение аргумента на соответствующей границе расчетной области.

В данной математической модели учитываются химические реакции, дополнительно в использовании обыкновенные дифференциальные уравнения первого порядка, которые в общем виде записываются так:

$$\frac{\partial}{\partial t} = -K(t)\Phi + F(t), \quad K(t) \geq 0, F(t) \geq 0, \Phi|_{t=0} = \Phi_e, \quad (21)$$

На основе метода контрольного объема можно построить дискретный аналог для уравнения с соответствующими краевыми условиям. Действительное расположение граней контрольного объема e и w не должно влиять на окончательную форму записи, предположим, что грань e расположена посередине между узловыми точками P и E , а грань w — посередине между W и P .

С помощью метода контрольного объема [20], рассмотрим и запишем в итоговом виде для одномерного случая, для уравнения дискретный аналог:

$$a_P \Phi_P = a_E \Phi_E + a_W \Phi_W + b, \quad (22)$$

$$a_E = D_e A(|P_e|) + [-F_e, 0], \quad (23)$$

$$a_W = D_w A(|P_w|) + [F_w, 0], \quad (24)$$

$$a_P = a_E + a_W + a_P^0 - S_P \Delta x, \quad (25)$$

$$b = S_C \Delta x + a_P^0 \Phi_P^0, \quad S = S_P \Phi + S_C, \quad a_P^0 = \frac{\rho_P^0 \Delta x}{\Delta t}, \quad (26)$$

Массовые расходы F_e и F_w определены уравнениями:

$$F_e = (\rho v)_e, F_w = (\rho v)_w, \quad (27)$$

соответствующие проводимости:

$$D_e = \frac{\Gamma_e}{(\delta x)_e}, \quad D_w = \frac{\Gamma_w}{(\delta x)_w}, \quad (28)$$

а числа Пекле:

$$P_e = F_e / D_e, \quad P_w = F_w / D_w. \quad (29)$$

Выражение такого типа $[A, B]$ говорят о том, что выбирается наибольший элемент из двух. Для функции $A(|P|)$ рекомендуют схему со степенным законом:

$$A(|P|) = \left[\left[0, (1 - 0, |P|)^5 \right] \right], \quad (30)$$

Дискретные аналоги для компонентов скорости уравнения количества движения немного расходятся в значениях от дискретных аналогов уравнений для других Φ , которые рассчитываются в узлах основной сетки, воспользовавшись шахматной сеткой данное отличие является несущественной деталью. Оно связано с использованием для аппроксимации уравнений количества движения контрольных объемов на шахматной сетке. Любая зависимая переменная может иметь свою сетку. Производя расчет компонентов скорости, нужно определить их на сетке, не похожая на другую сетки.

Компоненты вектора скорости можно рассчитать в точках, которые лежат на гранях контрольных объемов определенных для функций скалярных величин, воспользовавшись сдвинутыми для уравнений движения сеток. Это означает, что скорость v вдоль оси x рассчитывается на поверхностях контрольных объемов. То есть, данные точки лежат на отрезках, которые соединяют две соседние узловые точки. Точки для определения v расположены на гранях контрольных объемов между основными узловыми точками, в которых задаются скалярные функции.

Наиболее удобный вид записи дискретного аналога обобщенного дифференциального уравнения Φ получается при использовании подхода определения сеток. Дискретный аналог для компонентов скорости v :

$$a_e v_e = \sum a_{nb} v_{nb} + b + (p_p - p_E) A_e, \quad (31)$$

Для того, чтобы решить уравнения движения необходимо рассчитать поле давление или задать его каким-нибудь способом. Определим согласно таким образом, поле давление, чтобы поле скорости удовлетворяло уравнению неразрывности. Для этой цели в работе использовался алгоритм *SIMPLE*. При этом вводилась вспомогательная функция для поправки давления. Получение дискретного аналога для поправки давления p' также приведено дальше. Здесь p' определяется по формуле $p' = p - p^*$. Где p –

давление, а p^* – приближенное поле давления. Уравнение для сеточных значений поправки давления p' имеет вид

$$a_p p'_p = a_E p'_E + a_W p'_W + b, \quad (32)$$

где $a_E = \rho_e d_e, a_W = \rho_w d_w$,

$$a_p = a_E + a_W, \quad (33)$$

$$b = \frac{(\rho_p^0 - \rho_p) \Delta x}{\Delta t} + [(\rho v^*)_w - (\rho v^*)_e], \quad (34)$$

2.5.1 Метод решения сеточных уравнений TDMA

Вследствие дискретизации дифференциальной задачи получаем системы сеточных уравнений для любого дифференциального уравнения. При этом матрица системы является трехдиагональной для одномерного случая. Применяем способ прогонки для получения численного решения. Применяя *TDMA* (Three dimensional method algorithm или метод прогонки), получим распределение Φ по всей расчетной области [20].

Для того, чтобы записать алгоритм в более удобной форме, следует ввести некоторые обозначения. Так же присвоим узловым точкам номера 1, 2, 3, ..., N. Номера 1 и N являются точками на границе. Дискретный аналог можно записать в следующем виде:

$$a_i T_i = b_i T_{i+1} + c_i T_{i-1} + d_i, \quad (35)$$

где $i=1, 2, 3, \dots, N$. Следовательно, температура T , связана с соседними значениями T_{i+1} и T_{i-1} . Запись уравнений для узловых точек на границе дает

$$c_1 = 0 \text{ и } b_N = 0, \quad (36)$$

значит, температуры T_0 и T_{N+1} не имеют смысл в том случае, когда температуры на границе заданы, уравнения для граничных точек записываются в обычной форме, например, если T_1 задано, имеем $a_1 b_1 = 0$, $c_1 = 0$ и d_1 равно заданному значению T_1 . Данные условия говорят о том, что T_1 известная, а T_2 является неизвестной. Уравнение для $i=2$ представляет собой соотношение между T_1, T_2 и T_3 . Но поскольку T_1 может быть выражена

через T_2 , это соотношение приводится к соотношению между T_2 и T_3 . Другими словами, T_2 можно выразить через T_3 . Процесс подстановки можно продолжать до тех пор, пока значение T_N не будет выражено через T_{N+1} . Но поскольку T_{N+1} не существует, мы в действительности на данном этапе получим численное значение T_N . Это позволит нам начать процесс обратной подстановки, в котором T_{N-1} получится из T_N , T_{N-2} – из T_{N-1} , ..., T_2 – из T_3 , T_1 – из T_2 . Это и составляет существо алгоритма трехдиагональной матрицы. Допустим, что при прямой подстановке имеем зависимость:

$$T_i = P_i T_{i+1} + Q_i, \quad (37)$$

после того, как получено

$$T_{i-1} = P_{i-1} T_i + Q_{i-1}, \quad (38)$$

Получаем следующее соотношение:

$$a_i T_i = b_i T_{i+1} + c_i (P_{i-1} T_i + Q_{i-1}) + d_i, \quad (39)$$

Коэффициенты P_i и Q_i запишем в виде:

$$P_i = \frac{b_i}{a_i - c_i P_{i-1}}; \quad (40)$$

$$Q_i = \frac{d_i + c_i Q_{i-1}}{a_i - c_i P_{i-1}}, \quad (41)$$

Эти рекуррентные соотношения определяют P_i и Q_i через P_{i-1} и Q_{i-1} . Таким образом, P_i и Q_i определяются в следующем виде:

$$P_1 = \frac{b_1}{a_1}; \quad Q_1 = \frac{d_1}{a_1}, \quad (42)$$

На другом конце последовательности P_i и Q_i имеем $b_N = 0$. Это дает $P_N = 0$, и получаем $T_N = Q_N$.

Скорость сходимости этого метода значительно высокая, т.к. сведения о граничных условиях на границах линии мгновенно переходят во

внутреннюю долю области вне зависимости от числа точек на линии. Процесс использования *TDMA* вдоль линий повторяется вплоть до, пока

$$\|R^0\| > \gamma \|R\|, \quad (43)$$

$$\text{где } \|R\| = \sqrt{\sum (a_P \Phi_P - a_E \Phi_E - a_W \Phi_W)^2}, \quad (44)$$

здесь суммирование по всем точкам расчетной области.

2.6 Расчет поражающего фактора при горении огненного шара

Интенсивность теплового излучения при анализе последствий горения разлива топлива необходимо рассчитывать в первую очередь и определять уровень воздействия на здания и находящиеся на определенном расстоянии людей. Для расчета данного фактора далее использован нормативный документ Приложение к Приказу МЧС России от 10.07.2009 N 404 Методика определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах [21]. В данной главе работы приведен расчет интенсивности теплового излучения для образовавшегося огненного шара.

2.6.1 Огненный шар

Методы, которые используют для прогнозирования последствий теплового излучения огненных шаров, включают в себя элементы или модели, которые необходимы для определения следующих факторов [22]:

- поверхностная мощность излучения огненного шара;
- степень пропускания атмосферы;
- геометрический вид данного шара;
- время существования огненного шара.

Все входные параметры, использованные для этих моделей, рассчитываются по подмоделям или строятся по предположению. Например, следующие параметры являются обязательными для ввода в большинстве геометрических угловых коэффициентов модели.

- геометрический вид огненного шара (возможно предположение);
- Размеры огненного шара (расчёты);

- Масса топлива, которая вовлечена в образовавшийся огненный шар (для расчета необходимо знать размер огненного шара);
- Расположение огненного шара по отношению к облучаемому объекту (предположение);
- расположение цели относительно огненного шара (предположение).

Интенсивность теплового излучения q (кВт/м²) для огненного шара также определяется по формуле (45):

$$q = E_f * F_q * \tau, \quad (45)$$

Величина E_f определяется на основе имеющихся экспериментальных данных. Допускается принимать $E_f=450$ кВт/м².

Значение F_q определяется по формуле (46):

$$F_q = \frac{D_s^2}{4*(H^2+r^2)}, \quad (46)$$

где H – высота, на которой расположен центр огненного шара, м;

D_s – эффективный диаметр огненного шара, м;

r – расстояние от облучаемого объекта до точки на поверхности земли непосредственно под центром огненного шара, м.

Эффективный диаметр огненного шара D_s определяют по формуле

$$D_s=5,33*m^{0,327}, \quad (47)$$

где m - масса горючего вещества, кг.

Величину H определяют в результате проведения специальных исследований, но допускается принимать ее равной $D_s/2$.

Время существования огненного шара t_s , с, определяют по формуле (48):

$$t_s=0,92m^{0,303}, \quad (48)$$

Коэффициент видимости основан на геометрической взаимосвязи между сферическим огненным шаром и плоской целью, которая расположена за границами огненного шара. В некоторые статические модели, вектора, перпендикулярно поверхности цели прямо указывают на центр сферического

огненного шара, как показано на рисунке 4.1, при этом данное расположение результатов в максимально возможных значениях для представления опасного фактора [22]. Следующее уравнение используется для расчета угловых коэффициентов излучения для данного расположения (49):

$$F = \frac{h^2}{R^2}, \quad (49)$$

где h – радиус огненного шара;

R – расстояние от объекта облучения до центра огненного шара.

В других статических моделях, цель имеет вертикальную ориентацию. Таким образом, вектор нормали к поверхности цели будет находиться в горизонтальном положении. Если огненный шар является касательной к рангу и цель находится на одном уровне, вектор нормали будет касательной к огненному шару, как показано на рисунке 2.1. Следующее уравнение используется для расчета угловых коэффициентов излучения для этой ориентации:

$$F = \frac{h^2 \cdot \sqrt{R^2 + h^2}}{R^3}, \quad (50)$$

Коэффициент пропускания атмосферы τ для огненного шара рассчитывается по формуле (11):

$$\tau = \exp \left[-7 \cdot 10^{-4} \cdot \left(\sqrt{r^2 + H^2} - \frac{D_s}{2} \right) \right]. \quad (51)$$

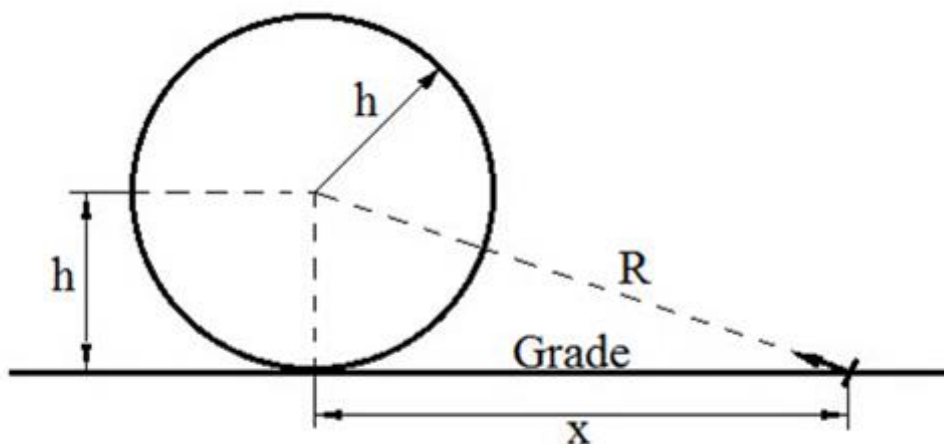


Рисунок 2.1 – Пример распределения огненного шара

Эволюцию огненного шара можно рассмотреть в двух различных случаях, так для первого случая минимальная часть топлива, смешанная с воздухом, загорается на начальном этапе аварийного выброса, на котором смесь осуществляет горение в диффузионном режиме. Во втором случае зажигание осуществляется немного позднее. Здесь уже в отличие от предыдущего случая, смешивается значительная часть топлива с воздухом, а продукты горения и вовлеченный воздух расширяются в быстром темпе, что в свою очередь ведет к превосходству объема, горящего над изначальным объемом горючего газа [22].

3. РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТОВ

Для оценки теплового воздействия огненного шара на человека и сооружения были проведены численные расчеты. Используя данные об интенсивности теплового излучения от огненного шара (45), проведены расчёты расстояний, на которых будут проявляться различные повреждения у человека, попавшего под воздействие теплового излучения. Для этого мы используем максимальные и минимальные значения теплового излучения, вызывающие повреждения у человека [23].

Степень серьезности травмы у человека, которые могут возникнуть в результате теплового излучения от огненного шара, зависит от интенсивности падающего излучения и длительности воздействия данного излучения на человека, находящегося в радиусе поражения. Учитывая, что огненный шар существует несколько секунд, длительность воздействия теплового излучения обычно устанавливается равной времени существования огненного шара. Данные по степени травмирования человека при поражении тепловым излучением приведено ниже в таблице 3.1.

Таблица 3.1 – Степень травмирования людей при поражении тепловым излучением [23]

Степень травмирования	Значение интенсивности теплового излучения, кВт/м ²
Ожоги III степени	49,0
Ожоги II степени	27,4
Ожоги I степени	9,6
Болевой порог (болезненные ощущения на коже и слизистых оболочках)	1,4

Зная объем сгоревшего топлива, ушедшего на образования огненного шара, найдем массу вещества и используем ее для расчета расстояния от места образования огненного шара до объекта облучения (человек). Значение F_q определяется по формуле (50).

Эффективный диаметр огненного шара D_s определяют по формуле:

$$D_s = 5,33 * m^{0,327} = 167,62 \text{ м}$$

где m – масса горючего вещества, кг.

Величину H определяют в ходе специальных исследований. Допускается принимать величину: $H = D_s / 2 = 83,8 \text{ м}$

Время существования огненного шара t_s , с, определяют по формуле:

$$t_s = 0,92 * m^{0,303} = 7,48 \text{ с}$$

Учитывая интенсивность теплового излучения для ожога 3 степени, равной $q = 49 \text{ кВт/м}^2$ проводим расчет расстояния до человека $R = 239,7 \text{ м}$

Учитывая интенсивность теплового излучения для болезненных ощущений на коже $q = 1,4 \text{ кВт/м}^2$ проводим расчет расстояния до человека $R = 1500 \text{ м}$.

Также зная интенсивность теплового излучения для каждого вида ожогов мы можем рассчитать на каком расстоянии будет данная степень поражения.

Ниже на рисунке 3.1 изображен график, который иллюстрирует зависимость расстояния, безопасного для человека, находящегося на расстоянии от огненного шара, от массы горючего вещества, участвовавшего в образовании огненного шара.

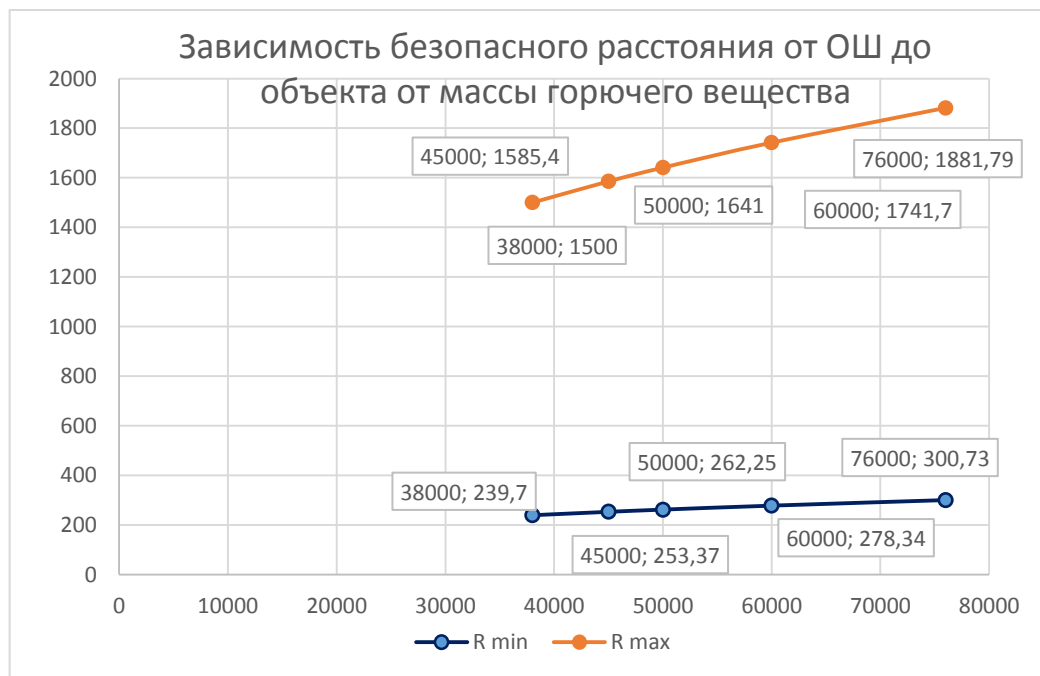


Рисунок 3.1 – Зависимость безопасного расстояния от огненного шара до человека от массы горючего вещества

Анализируя данный график можно сделать следующие выводы: при массе горючего вещества, обращающегося на АЗС и равной 38 т, при расположении человека на расстоянии от огненного шара менее чем в 240 метрах человек получит травмы, несовместимые с жизнью и ожоги выше третьей степени по всей площади тела. При расположении человека в момент аварии с моментальным сгоранием высвободившейся горючей массы на расстоянии 1500 м и дальше, человек не получит видимых повреждений, таким образом для данной массы горючего вещества, участвовавшего в образовании огненного шара, расстояние в 1500 метров от АЗС является безопасной зоной. Также из данного графика видно, что с увеличением массы горючего вещества, увеличивается радиус опасного теплового воздействия на человека.

Также, зная расстояние расположения человека от объекта аварии, мы можем решить обратную задачу и рассчитать какая интенсивность теплового излучения от огненного шара будет воздействовать на него, можем оценить его повреждения и степень ожогов.

Кроме теплового воздействия на человека, с помощью созданной модели можно определять расстояния, на которых в определенный момент времени произойдет загорание деревянной конструкции. Таким образом данная модель была использована для изучения процесса зажигания при изменяющихся массах горючего вещества. Данный график, приведенный на рисунке 3.2. отражает зависимость расстояния, на котором происходит процесс зажигания деревянной конструкции при увеличении массы топлива, участвующей в реакции. Оценив данную зависимость, можно сделать вывод, что расстояние, на котором с течением времени происходит зажигание объекта прямо пропорционально массе топлива, участвовавшего в образовании огненного шара.

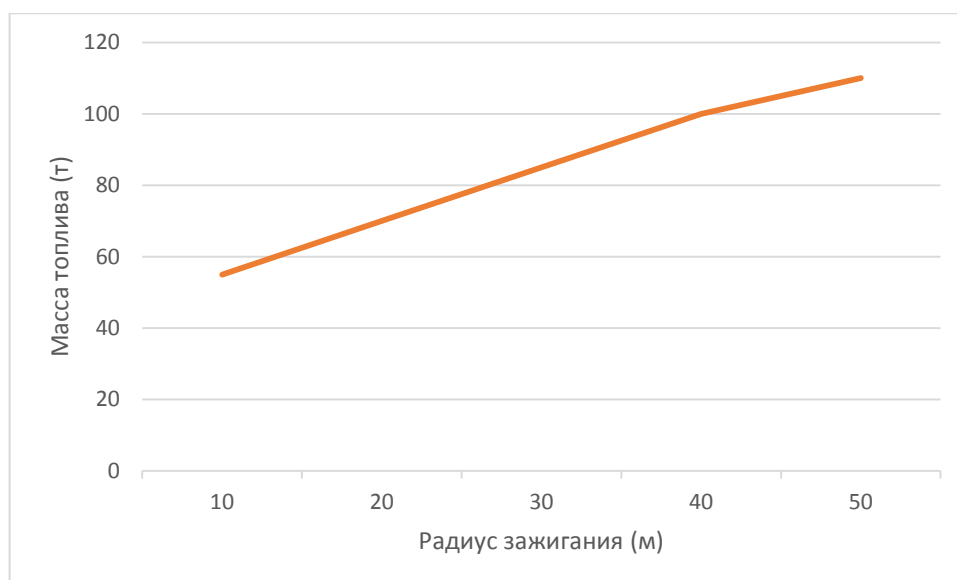


Рисунок 3.2 – Зависимость расстояния, на котором происходит зажигание деревянного объекта от массы топлива в реакции

Для изучения процесса зажигания деревянного объекта с течением времени и времени его возгорания на различном расстоянии при массе горючего вещества 38т произвели математическое моделирования данного процесса с помощью разработанной модели и получили числовой ряд изменения расстояния и изменения времени возгорания. Далее повторное моделирование было произведено с измененными массами топлива при $m=45$ т, и $m=50$ т. Ниже, на рисунке 3.3, приведен график зависимости расстояния зажигания от времени зажигания объекта при изменяющихся массах топлива.

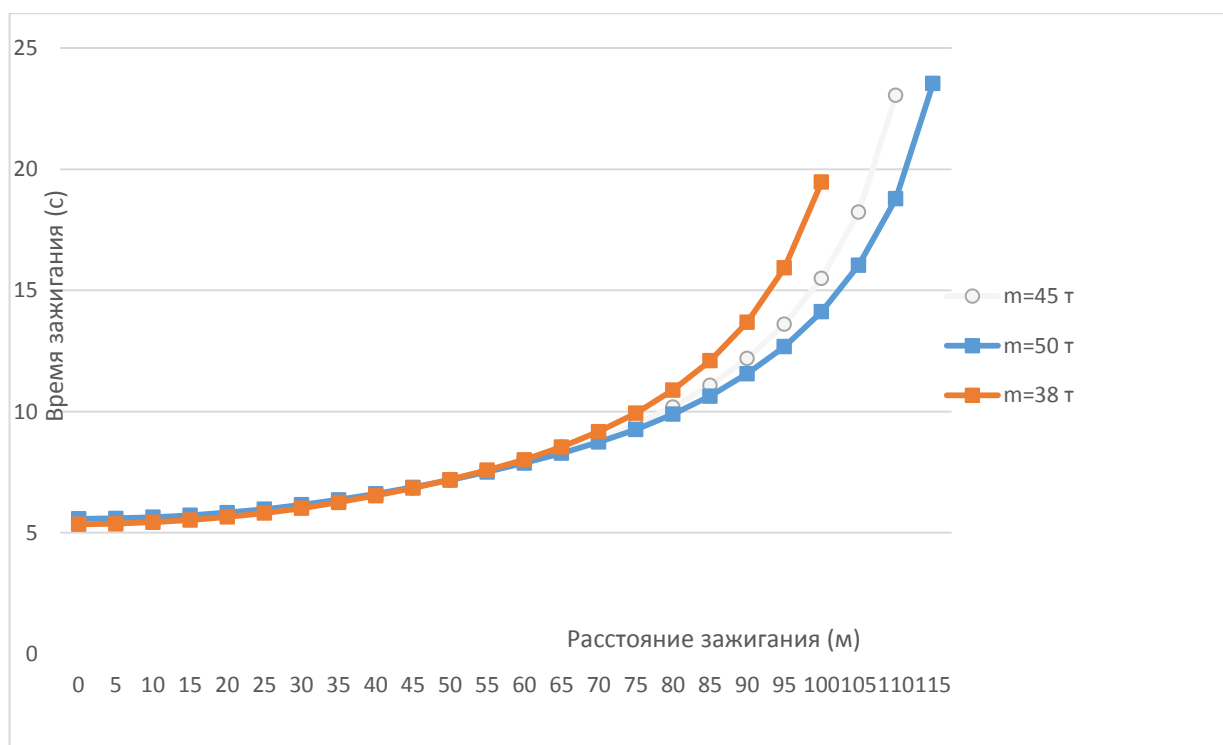


Рисунок 3.3 – График зависимости расстояния зажигания от времени зажигания объекта при изменяющихся массах топлива

Проводя анализ расчетных данных, приведенных в графике, можно сделать вывод, что при увеличении массы горючего вещества увеличивается время существования огненного шара, увеличивается расстояние, на котором способно загореться строение от теплового излучения огненного шара, а также время зажигания деревянной конструкции.

4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

4.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

4.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования

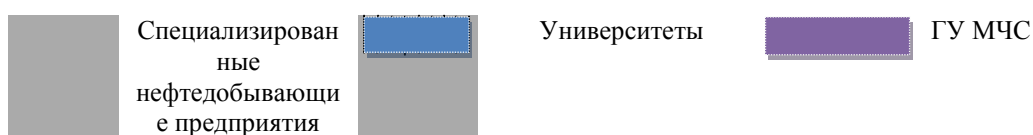
В ходе выпускной квалификационной работы по теме: «Применение математического моделирования для расчета безопасного расстояния при горении разлива топлива» изучалось применение данного метода для анализа последствий аварий на объектах обращения нефти. Основные задачи данной работы заключаются в проверке соответствия установленным требованиям промышленной безопасности, подготовка рекомендаций по устранению выявленных нарушений, а также будут получены данные по безопасному расстоянию при горении разливов топлива в результате аварийных ситуаций.

В ходе определения целей работы были определены следующие задачи:

- определить потенциальных потребителей результатов исследования;
- оценить качество новой разработки и ее перспективность на рынке технологией QuaD
- планирование исследовательской работы;
- определение эффективности исследования.

		Возможности использования результатов		
		Прогнозирование масштабов аварий на предприятии, использующем нефть	Расчет безопасного расстояния при аварии с горением нефти	Анализ уровня термического поражения населения в радиусе поражения
<i>Потребители</i>	Специализированные нефтедобывающие предприятия			
	Университеты			
	ГУ МЧС, прогнозирующие организации			

Рисунок 4.1 – Карта сегментирования рынка по разработке исследовательской работы



4.1.2 Технология QuaD

Технология QuaD (QQuality ADvisor) представляет собой гибкий инструмент измерения характеристик, описывающих качество новой разработки и ее перспективность на рынке и позволяющие принимать решение целесообразности вложения денежных средств в научно-исследовательский проект.

Таблица 4.1 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы	Максимальный бал	Относительное значение (3/4)	Средневзвешенное значение (5x2)
1	2	3	4	5	6
Показатели оценки качества разработки					
1.Актуальность рассматриваемой проблемы	0,3	95	100	0,95	0,285
2.Спрос проекта	0,1	95	100	0,95	0,095
3.Потребность в оборудовании	0,05	80	100	1	0,05
4. Эффективность проекта	0,3	100	100	1	0,3
Показатели оценки коммерческого потенциала разработки					
5. Наличие квалифицированного персонала	0,05	80	100	0,8	0,04
6.Доступность нормативно-правовой базы	0,1	100	100	0,8	0,08
7.Конкурентоспособность проекта	0,1	90	100	0,9	0,09
Итого	1	640	700	6,4	0,94

Оценка качества и перспективности по технологии QuaD определяется по формуле 52.

$$П_{ср} = \sum B * Б \quad (52)$$

где $P_{ср}$ – средневзвешенное значение показателя качества и перспективности научной разработки;

B_i – вес показателя (в долях единицы);

B_i – средневзвешенное значение i -го показателя.

$$П_{ср} = 0.3 * 95 + 0.1 * 95 + 0.05 * 100 + 0.3 * 100 + 0.05 * 80 + 0.1 * 80 + 0.1 * 90 = 28.5 + 9.5 + 5 + 30 + 4 + 8 + 9 = 94$$

Значение $P_{ср}$ позволяет говорить о перспективах разработки и качестве проведенного исследования. $P_{ср} = 94\%$, следовательно, разработка может считаться перспективной. Конкурентоспособность разрабатываемой системы высока.

Таким образом, представляется целесообразным создать и использовать математическое моделирование распространения теплового

излучения при горении разлива топлива в области промышленной безопасности, гражданской обороны и защиты населения и территорий от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера в Российской Федерации (РСЧС).

4.2 SWOT-анализ

SWOT – Strengths (сильные стороны), Weaknesses (слабые стороны), Opportunities (возможности) и Threats (угрозы) – представляет собой комплексный анализ научно-исследовательского проекта. SWOT-анализ применяют для исследования внешней и внутренней среды проекта.

Он проводится в несколько этапов.

Первый этап заключается в описании сильных и слабых сторон проекта, в выявлении возможностей и угроз для реализации проекта, которые проявились или могут появиться в его внешней среде. Дадим трактовку каждому из этих понятий.

1. **Сильные стороны.** Сильные стороны – это факторы, характеризующие конкурентоспособную сторону научно-исследовательского проекта. При этом рекомендуется задавать следующие вопросы:

- Какие технические преимущества вы имеете по сравнению с конкурентами?
- Что участники вашего проекта умеют делать лучше всех?
- Насколько ваш проект близок к завершению по сравнению с конкурентами?

2. **Слабые стороны.** Слабость – это недостаток, упущение или ограниченность научно-исследовательского проекта, которая препятствует достижению целей. Это то, что плохо получается в рамках проекта или где он располагает недостаточными возможностями или ресурсами по сравнению с конкурентами. Чтобы прояснить в каких аспектах вас, возможно, превосходят конкуренты, следует спросить:

- Что можно улучшить?
- Что делается плохо?

- Чего следует избегать?

3. **Возможности.** Возможности включают в себя любую предпочтительную ситуацию в настоящем или будущем, возникающую в условиях окружающей среды проекта. Формулирование возможностей проекта можно упростить, ответив на следующие вопросы:

- Какие возможности вы видите на рынке? Проводите поиск свободных ниш, но помните, что свободными они остаются недолго. Благоприятная возможность, увиденная сегодня, может перестать существовать уже через три месяца.
- В чем состоят благоприятные рыночные возможности?
- Какие интересные тенденции отмечены?
- Какие потребности, пожелания имеются у покупателя, но не удовлетворяются конкурентами?

4. **Угроза** представляет собой любую нежелательную ситуацию, тенденцию или изменение в условиях окружающей среды проекта, которые имеют разрушительный или угрожающий характер для его конкурентоспособности в настоящем или будущем. В качестве угрозы может выступать барьер, ограничение или что-либо еще, что может повлечь за собой проблемы, разрушения, вред или ущерб, наносимый проекту. Для выявления угроз проекта рекомендуется ответить на следующие вопросы:

- Какие вы видите тенденции, которые могут уничтожить ваш научно-исследовательский проект или сделать его результаты устаревшими?
- Что делают конкуренты?
- Какие препятствия стоят перед вашим проектом (например, изменения в законодательстве, снижение бюджетного финансирования проекта, задержка финансирования проекта и т.п.)?

Рекомендуется результаты первого этапа SWOT-анализа представлять в табличной форме, которые приведены ниже в таблице 4.2.

Таблица 4.2 – Матрица SWOT

Сильные стороны научно-исследовательского проекта: С1. Отсутствие финансовых затрат; С2. Возможность применение в реальных условиях; С3. Простота в применении программного обеспечения С4. Квалифицированный персонал; С5. Доступность в использовании.	Слабые стороны научно-исследовательского проекта: Сл1. Отсутствие использования подобных исследований ранее; Сл2. Отсутствие обученного персонала Сл3. Большие временные затраты на доработку программ для индивидуального случая	Возможности: В1. Использование на предприятиях нефтедобывающей отрасли; В2. Использование для заблаговременного прогнозирования ситуации В3. Применение для расчётов степени поражения человека в зоне аварии В4. Адаптация для других видов предприятий и опасных факторов
Угрозы: У1. Отсутствие спроса от организаций; У2. Изменение норм соответствия		

Описание сильных и слабых сторон научно-исследовательского проекта, его возможностей и угроз произведено на основе результатов анализа, проведенного в предыдущих разделах настоящей исследовательской работы.

После того как сформулированы четыре области SWOT, переходим к реализации второго этапа.

Второй этап состоит в выявлении соответствия сильных и слабых сторон научно-исследовательского проекта внешним условиям окружающей среды. Это соответствие или несоответствие должны помочь выявить степень необходимости проведения стратегических изменений.

В рамках данного этапа необходимо построить интерактивную матрицу проекта. Ее использование помогает разобраться с различными комбинациями взаимосвязей областей матрицы SWOT. Каждый фактор помечается либо знаком «+» (означает сильное соответствие сильных сторон возможностям), либо знаком «-» (что означает слабое соответствие); «0» – если есть сомнения в том, что поставить «+» или «-». Интерактивная матрица проекта представлена в таблице 4.3.

Таблица 4.3 – Интерактивная матрица проекта (возможности и сильные стороны)

Сильные стороны						
Возможности проекта		C1	C2	C3	C4	C5
	B1	–	+	0	–	+
	B2	+	+	+	–	–
	B3	+	+	–	+	0
	B4	0	0	+	0	–

Анализ интерактивных таблиц представляется в форме записи сильно коррелирующих сильных сторон и возможностей, следующего вида: B1C2C5; B2C1C2C3; B3C1C2C4; B4C3. Каждая из записей представляет собой направление реализации проекта.

Таблица 4.4 – Интерактивная матрица проекта (возможности и слабые стороны)

Слабые стороны				
Возможности проекта		Сл1	Сл2	Сл3
	B1	–	–	0
	B2	0	0	–
	B3	–	+	–
	B4	0	+	+

Таблица 4.5 – Интерактивная матрица проекта (угрозы и сильные стороны)

Сильные стороны						
Угрозы проекта		C1	C2	C3	C4	C5
	Y1	0	–	+	0	0
	Y2	–	–	+	+	+

Таблица 4.6 – Интерактивная матрица проекта (угрозы и слабые стороны)

Слабые стороны				
Угрозы проекта		Сл1	Сл2	Сл3
	У1	+	–	0
	У2	+	0	+

В рамках **третьего этапа** должна быть составлена итоговая матрица SWOT-анализа, которая приводится в данной работе в таблице 4.7.

Таблица 4.7 – SWOT-анализ

	Сильные стороны научно-исследовательского проекта: С1. Отсутствие финансовых затрат; С2. Возможность применение в реальных условиях; С3. Составленные рекомендации студентам; С4. Квалифицированный персонал; С5. Простота и доступность в использовании.	Слабые стороны научно-исследовательского проекта: Сл1. Отсутствие использования подобных исследований ранее; Сл2. Отсутствие специально выделенного времени на тестирование в учебных заведениях; Сл3. Большие временные затраты на обработку результатов и составление рекомендаций.
Возможности: В1. Использование на любых предприятиях; В2. Прием на работу; В3. Аттестация на дополнительную специализацию; В4. Организация дополнительных курсов на кафедре.	В1С2С5; В2С1С2С3; В3С1С2С4; В4С3.	В3Сл2; В4Сл2Сл3.
Угрозы: У1. Отсутствие спроса от организаций; У2. Изменение норм соответствия (при приеме на работу или аттестации).	У1С3; У2С3С5.	У1Сл1; У2Сл1Сл3.

Результаты SWOT-анализа учитываются при выборе метода расчета безопасного расстояния при горении разлива топлива, выполненного в рамках исследовательского проекта.

4.3 Планирование научно-исследовательских работ

4.3.1. Структура работ в рамках научного исследования

Планирование комплекса предполагаемых работ осуществляется в следующем порядке:

- определение структуры работ в рамках научного исследования;
- определение участников каждой работы;
- установление продолжительности работ;
- построение графика проведения научных исследований.

Для выполнения научных исследований формируется рабочая группа, в состав которой могут входить научные сотрудники и преподаватели, инженеры, техники и лаборанты, численность групп может варьироваться. По каждому виду запланированных работ устанавливается соответствующая должность исполнителей. В данном разделе необходимо составить перечень этапов и работ в рамках проведения научного исследования, провести распределение исполнителей по видам работ. Порядок составления этапов и работ, распределение исполнителей приведен в таблице 4.8.

Таблица 4.8 - Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ Работ	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение темы проекта	Научный руководитель, студент
	2	Выдача задания по тематике проекта	Научный руководитель
Выбор направления исследований	3	Постановка задачи	Научный руководитель, студент
	4	Определение стадий, этапов и сроков разработки проекта	Научный руководитель, студент
	5	Подбор литературы по тематике работы	Студент
	6	Сбор материалов	Студент
Теоретические и экспериментальные исследования	7	Проведение теоретических обоснований	Студент
	8	Проведение практических исследований	Студент
	9	Анализ полученных результатов	Студент
	10	Согласование полученных данных с научным руководителем	Студент, научный руководитель
Обобщение и оценка результатов	11	Оценка эффективности полученных результатов	Студент
	12	Работа над выводами по проекту	Студент
Оформление отчета по НИР	13	Составление пояснительной записки к работе	Студент, научный руководитель

4.3.2 Определение трудоемкости выполнения работ

Трудовые затраты в большинстве случаев составляют основную часть стоимости разработки, поэтому важным моментом является определение трудоемкости работ каждого из участников научного исследования.

Трудоемкость выполнения научного исследования оценивается экспертным путем в человеко-днях и носит вероятностный характер, т.к. зависит от множества трудно учитываемых факторов. Для определения ожидаемого (среднего) значения трудоемкости $t_{ожі}$ используется следующая

формула:

$$t_{ожі} = \frac{3t_{\min i} + 2t_{\max i}}{5}, \quad (53)$$

где $t_{ожі}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения i -ой работы чел.-дн.;

$t_{\min i}$ – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы (оптимистическая оценка: в предположении наиболее благоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.;

$t_{\max i}$ – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы (пессимистическая оценка: в предположении наиболее неблагоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.

$$t_{ож.1} = \frac{3 * 2 + 2 * 5}{5} = 3.2 \text{ чел. -дн.}$$

Ожидаемое (среднее) значение трудоемкости выполнения 2-й работы составило:

$$t_{ож.2} = \frac{3 * 1 + 2 * 2}{5} = 1.4 \text{ чел. -дн.}$$

Ожидаемое (среднее) значение трудоемкости выполнения 3-й работы составило:

$$t_{ож.3} = \frac{3 * 1 + 2 * 2}{5} = 1.4 \text{ чел. -дн.}$$

Ожидаемое (среднее) значение трудоемкости выполнения 4-й работы составило:

$$t_{ож.4} = \frac{3 * 2 + 2 * 5}{5} = 3.2 \text{ чел. -дн.}$$

Ожидаемое (среднее) значение трудоемкости выполнения 5-й работы составило:

$$t_{\text{ож.5}} = \frac{3 * 8 + 12 * 15}{5} = 9.6 \text{ чел. -дн.}$$

Ожидаемое (среднее) значение трудоемкости выполнения 6-й работы составило:

$$t_{\text{ож.6}} = \frac{3 * 14 + 14 * 20}{5} = 15 \text{ чел. -дн.}$$

Ожидаемое (среднее) значение трудоемкости выполнения 7-й работы составило:

$$t_{\text{ож.7}} = \frac{3 * 7 + 2 * 9}{5} = 8 \text{ чел. -дн.}$$

Ожидаемое (среднее) значение трудоемкости выполнения 8-й работы составило:

$$t_{\text{ож.8}} = \frac{3 * 3 + 4 * 9}{5} = 3.4 \text{ чел. -дн.}$$

Ожидаемое (среднее) значение трудоемкости выполнения 9-й работы составило:

$$t_{\text{ож.9}} = \frac{3 * 5 + 2 * 7}{5} = 5.8 \text{ чел. -дн.}$$

Ожидаемое (среднее) значение трудоемкости выполнения 10-й работы составило:

$$t_{\text{ож.10}} = \frac{3 * 2 + 2 * 5}{5} = 3.2 \text{ чел. -дн.}$$

Ожидаемое (среднее) значение трудоемкости выполнения 11-й работы составило:

$$t_{\text{ож.10}} = \frac{3 * 2 + 2 *}{5} = 2.4 \text{ чел. -дн.}$$

Ожидаемое (среднее) значение трудоемкости выполнения 12-й работы составило:

$$t_{\text{ож.10}} = \frac{3 * 1 + 2 * 2}{5} = 1,4 \text{ чел. -дн.}$$

Ожидаемое (среднее) значение трудоемкости выполнения 13-й работы составило:

$$t_{\text{ож.10}} = \frac{3 * 3 + 2 * 4}{5} = 3.4 \text{ чел. -дн.}$$

Исходя из ожидаемой трудоемкости работ, определяется продолжительность каждой работы в рабочих днях T_p , учитывающая параллельность выполнения работ несколькими исполнителями. Такое вычисление необходимо для обоснованного расчета заработной платы, так как удельный вес зарплаты в общей сметной стоимости научных исследований составляет около 65 %.

$$T_{p_i} = \frac{t_{ожі}}{Ч_i}, \quad (54)$$

где T_{p_i} – продолжительность одной работы, раб. дн.;

$t_{ожі}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, чел.-дн.

$Ч_i$ – численность исполнителей, выполняющих одновременно одну и ту же работу на данном этапе, чел.

Продолжительность 1-й работы:

$$T_{p1} = \frac{3.2}{1} = 3.2 \text{ раб. дн.}$$

Продолжительность 2-й работы:

$$T_{p2} = \frac{1.4}{1} = 1.4 \text{ раб. дн.}$$

Продолжительность 3-й работы:

$$T_{p3} = \frac{1.4}{1} = 1.4 \text{ раб. дн.}$$

Продолжительность 4-й работы:

$$T_{p4} = \frac{3.2}{1} = 3.2 \text{ раб. дн.}$$

Продолжительность 5-й работы:

$$T_{p5} = \frac{9.6}{1} = 9,6 \text{ раб. дн.}$$

Продолжительность 6-й работы:

$$T_{p6} = \frac{15}{1} = 15 \text{ раб. дн.}$$

Продолжительность 7-й работы:

$$T_{p7} = \frac{8}{2} = 8 \text{ раб. дн.}$$

Продолжительность 8-й работы:

$$T_{p8} = \frac{34}{2} = 3.4 \text{ раб. дн.}$$

Продолжительность 9-й работы:

$$T_{p9} = \frac{5.8}{1} = 5.8 \text{ раб. дн.}$$

Продолжительность 10-й работы:

$$T_{p10} = \frac{3.2}{1} = 3.2 \text{ раб. дн.}$$

Продолжительность 11-й работы:

$$T_{p11} = \frac{2.4}{1} = 2.4 \text{ раб. дн.}$$

Продолжительность 12-й работы:

$$T_{p12} = \frac{1.4}{1} = 1.4 \text{ раб. дн.}$$

Продолжительность 13-й работы:

$$T_{p13} = \frac{3.4}{1} = 3.4 \text{ раб. дн.}$$

4.3.3 Разработка графика проведения научного исследования

Наиболее удобным и наглядным является построение ленточного графика проведения научных работ в форме диаграммы Ганта.

Диаграмма Ганта – горизонтальный ленточный график, на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ.

Для удобства построения графика, длительность каждого из этапов работ из рабочих дней следует перевести в календарные дни. Для этого необходимо воспользоваться следующей формулой:

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{\text{кал}}, \quad (55)$$

где T_{ki} – продолжительность выполнения i -й работы в календарных днях;

T_{pi} – продолжительность выполнения i -й работы в рабочих днях;

$k_{\text{кал}}$ – коэффициент календарности.

Коэффициент календарности определяется по следующей формуле:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}}, \quad (56)$$

где $T_{\text{кал}}$ – количество календарных дней в году;

$T_{\text{вых}}$ – количество выходных дней в году;

$T_{\text{пр}}$ – количество праздничных дней в году.

Согласно данным производственного и налогового календаря на 2017 год, количество календарных дней составляет 365 дней, количество рабочих дней составляет 246 дней, количество выходных – 105 дней, а количество праздничных дней – 14, таким образом:

$$k_{\text{кал}} = \frac{366}{366 - 105 - 14} = 1,48 \quad (57)$$

Все рассчитанные значения заносим в таблицу 13, календарный план-график проведения НИОКР по теме приведен ниже в таблице 14.

Продолжительность выполнения 1-й работы в календарных днях

$$T_{k1} = 3.2 * 1.477 = 3 \text{ кал. дн.}$$

Продолжительность выполнения 2-й работы в календарных днях

$$T_{k2} = 1.4 * 1.477 = 1 \text{ кал. дн.}$$

Продолжительность выполнения 3-й работы в календарных днях

$$T_{k3} = 1.4 * 1.477 = 1 \text{ кал. дн.}$$

Продолжительность выполнения 4-й работы в календарных днях

$$T_{k4} = 3.2 * 1.477 = 2 \text{ кал. дн.}$$

Продолжительность выполнения 5-й работы в календарных днях

$$T_{k5} = 9 * 1.477 = 14 \text{ кал. дн.}$$

Продолжительность выполнения 6-й работы в календарных днях

$$T_{k6} = 15 * 1.477 = 22 \text{ кал. дн.}$$

Продолжительность выполнения 7-й работы в календарных днях

$$T_{k7} = 8 * 1.477 = 12 \text{ кал. дн.}$$

Продолжительность выполнения 8-й работы в календарных днях

$$T_{k8} = 3.4 * 1.477 = 5 \text{ кал. дн.}$$

Продолжительность выполнения 9-й работы в календарных днях

$$T_{k9} = 5.8 * 1.477 = 9 \text{ кал. дн.}$$

Продолжительность выполнения 10-й работы в календарных днях

$$T_{k10} = 3.2 * 1.477 = 2 \text{ кал. дн.}$$

Продолжительность выполнения 11-й работы в календарных днях

$$T_{k11} = 2.4 * 1.477 = 4 \text{ кал. дн.}$$

Продолжительность выполнения 12-й работы в календарных днях

$$T_{k12} = 1.4 * 1.477 = 2 \text{ кал. дн.}$$







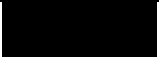
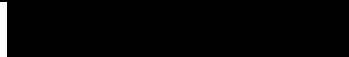
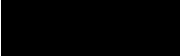






Продолжительность выполнения 13-й работы в календарных днях




$$T_{k13} = 3.4 * 1.477 = 2 \text{ кал. дн.}$$



Таблица 4.9 - Временные показатели проведения научного исследования

Название работы	Трудоемкость работ			Исполнители	Длительность работ в рабочих днях T_{pi}	Длительность работ в календарных днях T_{ki}
	t_{\min}	t_{\max}	$t_{\text{ожи}}$			
Составление и утверждение темы проекта	2	5	3.2	Руководитель	3.2	3
Выдача задания по тематике проекта	1	2	1.4	Руководитель	1.4	1
Постановка задачи	1	2	1.4	Руководитель, Студент	1.4	1
Определение стадий, этапов и сроков разработки проекта	2	5	3.2	Руководитель, Студент	3.2	2
Подбор литературы по тематике ВКР	8	12	9.6	Студент	9.6	14
Сбор материалов	14	17	15	Студент	15	22
Проведение теоретических обоснований	7	9	8	Студент	8	12
Проведение практических исследований	3	4	3.4	Студент	3.4	5
Анализ полученных результатов	5	7	5.8	Студент	5.8	9
Согласование полученных данных с научным руководителем	2	5	3.2	Руководитель, студент	3.2	2
Оценка эффективности полученных результатов	2	3	2.4	Студент	2.4	4
Работа над выводами по проекту	1	2	1.4	Студент	1.4	2
Составление пояснительной записки к работе	3	4	3.4	Студент, руководитель	3.4	2

Таблица 4. 10 – Календарный план-график проведения НИОКР по теме

№ Работ	Вид работ	Исполнители	T _{кп} , кал. дн.	Продолжительность выполнения работ, декады								
				март			апрель			май		
				1	2	3	1	2	3	1	2	3
1	Составление и утверждение темы проекта	Руководитель	5									
2	Выдача задания по тематике проекта	Руководитель	2									
3	Постановка задачи	Студент, руководитель	1		 							
4	Определение стадий, этапов и сроков разработки проекта	Руководитель, Студент	2		 							
5	Подбор литературы по тематике работы	Студент	14									
6	Сбор материалов	Студент	22									
7	Проведение теоретических обоснований	Студент	12									
8	Проведение практических исследований	Студент	5									
9	Анализ полученных результатов	Руководитель, Студент	9								 	
10	Согласование полученных данных с научным руководителем	Руководитель, Студент	2								 	
11	Оценка эффективности полученных результатов	Студент	4									

12	Работа над выводами	Студент	2									
13	Составление пояснительной записки к работе	Студент, руководитель	3									 

 - Руководитель  - Студент

Построен календарный план-график выполнения ВКР, который показывает, что наиболее продолжительными этапами работы являются: «Подбор литературы по тематике ВКР» (14 дней), «Сбор материалов» (22 дней) и «Проведение теоретических обоснований» (12 дней). В ходе НИР руководитель темы участвует в работе в течении 11 календарных дней, студент – в течении 83 календарных дней. Общая продолжительность работ в календарных днях составила 83 дня.

4.4 Бюджет научно-технического исследования (НТИ)

При планировании бюджета НТИ необходимо обеспечить полное и верное отражение различных видов расходов, связанных с его выполнением.

В процессе формирования бюджета НТИ используется следующая группировка затрат по статьям:

- материальные затраты НТИ;
- основная заработная плата исполнителей темы;
- дополнительная заработная плата исполнителей темы;
- отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления);
- затраты научные и производственные командировки;
- контрагентные расходы;
- накладные расходы.

4.4.1 Расчет материальных затрат НТИ

Данная статья включает стоимость всех материалов, используемых при разработке проекта:

- приобретаемые со стороны сырье и материалы, необходимые для создания научно-технической продукции;
- покупные материалы, используемые в процессе создания научно-технической продукции для обеспечения нормального технологического процесса и для упаковки продукции или расходуемые на другие производственные и хозяйственные нужды, а также запасные части;
- покупные комплектующие изделия и полуфабрикаты, подвергающиеся в дальнейшем монтажу или дополнительной обработке;

- сырье и материалы, покупные комплектующие изделия и полуфабрикаты, используемые в качестве объектов исследований (испытаний) и для эксплуатации, технического обслуживания и ремонта изделий – объектов исследований.

В материальные затраты, помимо вышеуказанных, включаются дополнительно затраты на канцелярские принадлежности, диски, картриджи и т.п. Однако их учет ведется в данной статье только в том случае, если в научной организации их не включают в расходы на использование оборудования или накладные расходы. В первом случае на них определяются соответствующие нормы расхода от установленной базы. Во втором случае их величина учитывается как некая доля в коэффициенте накладных расходов.

Расчет материальных затрат осуществляется по следующей формуле:

$$З_{\text{м}} = (1 + k_T) \cdot \sum_{i=1}^m \Pi_i \cdot N_{\text{расх}i}, \quad (58)$$

где m – количество видов материальных ресурсов, потребляемых при выполнении научного исследования;

$N_{\text{расх}i}$ – количество материальных ресурсов i -го вида, планируемых к использованию при выполнении научного исследования (шт., кг, м, м^2 и т.д.);

Π_i – цена приобретения единицы i -го вида потребляемых материальных ресурсов (руб./шт., руб./кг, руб./м, руб./ м^2 и т.д.);

k_T – коэффициент, учитывающий транспортно-заготовительные расходы.

Величина коэффициента (k_T), отражающего соотношение затрат по доставке материальных ресурсов и цен на их приобретение, зависит от условий договоров поставки, видов материальных ресурсов, территориальной удаленности поставщиков и т.д. Заносим материальные затраты в таблицу 4.11.

Таблица 4.11 – Материальные затраты

Наименование	Единица измерения	Количество			Цена за ед., руб.			Затраты на материалы, (З _м), руб.		
		Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3
Бумага	лист	300	250	350	2	2	2	600	500	700
Картридж	шт.	1	1	1	700	750	780	700	750	780
Дополнительная литература	шт.	4	2	3	500	550	630	2000	1100	1890
Итого								3300	2350	3370

4.4.2 Основная заработная плата исполнителей темы

В этой статье расходов планируется и учитывается основная заработная плата исполнителей, непосредственно участвующих в проектировании разработки.

$$C_{осн/зн} = \sum t_i \cdot C_{зн_i}, \quad (59)$$

где t_i - затраты труда, необходимые для выполнения i -го вида работ, в рабочих днях, $C_{зн_i}$ - среднедневная заработная плата работника, выполняющего i -ый вид работ, (руб./день).

Среднедневная заработная плата определяется по формуле:

$$C_{зн_i} = \frac{D + D \cdot K}{F}, \quad (60)$$

где D - месячный оклад работника (в соответствии с квалификационным уровнем профессиональной квалификационной группы), K - районный коэффициент (для Томска – 1,3), F – количество рабочих дней в месяце (в среднем 22 дня).

Затраты на оплату труда студента-дипломника могут определяться как оклад инженера кафедры (учебно-вспомогательный персоналу) в соответствии с квалификационным уровнем профессиональной квалификационной группы, либо по тарифной сетке, принятой на предприятии, где студент-дипломник проходил практику.

Расходы на основную заработную плату определяются как произведение трудоемкости работ каждого исполнителя на среднедневную заработную плату. Оклад руководителя определен в соответствии с таблицей окладов ППС и НС от 01.10.2013. Расчет затрат на основную заработную плату приведен в таблице 4.12:

Таблица 4.12 – Расчет основной заработной платы

Исполнитель	Оклад, руб.	Средняя заработная плата, руб./дн.	Трудоемкость, раб. дн.			Основная заработная плата, руб.		
			Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3
Руководитель	33162	2871	12	11	10	34452	31581	28710
ИТОГО						34452	31581	28710

4.4.3 Дополнительная заработная плата исполнителей темы

Таблица 4.13– Расчет дополнительной заработной платы

Исполнитель	Основная заработная плата, руб.			Коэффициент дополнительной заработной платы	Дополнительная заработная плата, руб.		
	Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3		Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3
Руководитель	34452	31581	28710	0,12	4134,2	3789,7	3445,2
Итого					4134,2	3789,7	3445,2

4.4.4 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$З_{внеб} = k_{внеб} \cdot (З_{осн} + З_{доп}), \quad (61)$$

где $k_{внеб}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования и пр.).

На 2016 г. в соответствии с Федеральным законом от 24.07.2009 №212-ФЗ установлен размер страховых взносов равный 30%. На основании пункта 1 ст.58 закона №212-ФЗ для учреждений, осуществляющих образовательную и научную деятельность в 2016 году водится пониженная ставка – 27,1%.

Отчисления во внебюджетные фонды представлены ниже в таблице 4.14.

Таблица 4.14 – Отчисления во внебюджетные фонды

Исполнитель	Основная заработная плата, руб			Дополнительная заработная плата, руб		
	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3
Руководитель проекта	34452	31581	28710	4134,2	3789,7	3445,2
Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды	0,271					
Итого						
Исполнение 1	10418,3 руб.					
Исполнение 2	9550 руб.					
Исполнение 3	8681,9 руб.					

4.4.5 Накладные расходы

Накладные расходы учитывают прочие затраты организации, не попавшие в предыдущие статьи расходов: печать и ксерокопирование материалов исследования, оплата услуг связи, электроэнергии, почтовые и телеграфные расходы, размножение материалов и т.д. Их величина определяется по следующей формуле:

$$З_{\text{накл}} = (\text{сумма статей } 1 \div 7) \cdot k_{\text{нр}}, \quad (62)$$

где $k_{\text{нр}}$ – коэффициент, учитывающий накладные расходы.

Величину коэффициента накладных расходов можно взять в размере 80%.

Таким образом, наибольшие накладные расходы равны:

при первом исполнении $З_{\text{накл}} = 38586,2 \cdot 0,8 = 30868,9$ руб.

при втором исполнении $З_{\text{накл}} = 35370,7 \cdot 0,8 = 28296,6$ руб.

при третьем исполнении $З_{\text{накл}} = 32155,2 \cdot 0,8 = 25724,2$ руб.

4.4.6 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

Рассчитанная величина затрат научно-исследовательской работы (темы) является основой для формирования бюджета затрат проекта, который при формировании договора с заказчиком защищается научной организацией в качестве нижнего предела затрат на разработку научно-технической продукции.

Определение бюджета затрат на научно-исследовательский проект по каждому варианту исполнения приведен в таблице 4.15.

Таблица 4.15 – Расчет бюджета затрат НТИ

Наименование статьи	Сумма, руб.			Примечание
	Исп.1	Исп.2	Исп.3	
1. Материальные затраты НТИ	3300	2350	3370	
2. Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	34452	31581	28710	
3. Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	4134,2	3789,7	3445,2	
4. Отчисления во внебюджетные фонды	10418,3	9550	8681,9	
5. Накладные расходы	30868,9	28296,6	25724,2	80% от суммы
6. Бюджет затрат НТИ	83172,5	75567,3	69931,3	Сумма ст. 1- 5

Вывод: Таким образом, в ходе проведенных расчетов и рассмотрения полученных результатов, можно сделать вывод о том, что исполнение № 3 является более выгодным вариантом формирования бюджета затрат НТИ. При исполнении №3 использовалось большее количество расходных материалов, следовательно, расходы на них были больше, но было затрачено меньше времени на разработку исследования, что сократило затраты на заработную плату исполнителей.

4.5. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования

Определение эффективности происходит на основе расчета интегрального показателя эффективности научного исследования. Его нахождение связано с определением двух средневзвешенных величин: финансовой эффективности и ресурсоэффективности.

Интегральный показатель финансовой эффективности научного исследования получают в ходе оценки бюджета затрат трех (или более) вариантов исполнения научного исследования). Для этого наибольший интегральный показатель реализации технической задачи принимается за

базу расчета (как знаменатель), с которым соотносятся финансовые значения по всем вариантам исполнения.

Интегральный финансовый показатель разработки определяется как:

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\text{max}}}, \quad (63)$$

где $I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i}$ – интегральный финансовый показатель разработки;

Φ_{pi} – стоимость i -го варианта исполнения;

Φ_{max} – максимальная стоимость исполнения научно-исследовательского проекта.

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}1} = \frac{\Phi_{p1}}{\Phi_{\text{max}}} = \frac{83172,5}{83172,5} = 1; \quad I_{\text{финр}}^{\text{исп.}2} = \frac{\Phi_{p2}}{\Phi_{\text{max}}} = \frac{75567,3}{83172,5} = 0,91;$$

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}3} = \frac{\Phi_{p3}}{\Phi_{\text{max}}} = \frac{69931,3}{83172,5} = 0,84$$

Полученная величина интегрального финансового показателя разработки отражает соответствующее численное увеличение бюджета затрат разработки в размах (значение больше единицы), либо соответствующее численное удешевление стоимости разработки в размах (значение меньше единицы, но больше нуля).

Интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов исполнения объекта исследования можно определить следующим образом:

$$I_{pi} = \sum a_i \cdot b_i, \quad (64)$$

где I_{pi} – интегральный показатель ресурсоэффективности для i -го варианта исполнения разработки;

a_i – весовой коэффициент i -го варианта исполнения разработки;

b_i^a, b_i^p – бальная оценка i -го варианта исполнения разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания;

n – число параметров сравнения.

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности рекомендуется проводить в форме таблицы 4.16.

**Таблица 4.16 – Сравнительная оценка характеристик вариантов
исполнения проекта**

Объект исследования Критерии	Весовой коэффициент параметра	Исп.1	Исп.2	Исп.3
1. Повышение производительности труда пользователя	0.1	2	4	1
2. Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей)	0.1	3	3	2
3. Помехоустойчивость	0.2	4	2	3
4. Надежность	0.1	5	3	4
5. Простота эксплуатации	0.2	5	3	2
6. Возможность подключения в сеть ЭВМ	0.05	1	5	1
Экономические критерии оценки эффективности				
1. Уровень проникновения на рынок	0.05	4	2	4
2. Цена	0.1	3	4	4
3. Финансирование научной разработки	0.1	2	2	2
Итого:	1			

$$I_{p-ucn1} = 2*0.1+3*0.1+4*0.2+5*0.1+5*0.2+1*0.05+4*0.05+3*0.1+2*0.1 = 3.55$$

$$I_{p-ucn2} = 4*0.1+3*0.1+2*0.2+3*0.1+3*0.2+5*0.05+2*0.05+4*0.1+2*0.1 = 2.95$$

$$I_{p-ucn3} = 1*0.1+2*0.1+3*0.2+4*0.1+2*0.2+1*0.05+4*0.05+4*0.1+2*0.1 = 2.55$$

Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки (I_{ucni}) определяется на основании интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле:

$$I_{ucn.1} = \frac{I_{p-ucn1}}{I_{финр.1}}, \quad (65)$$

$$I_{ucn.2} = \frac{I_{p-ucn2}}{I_{финр.2}} \quad (66)$$

$$I_{исп1} = \frac{I_{p-исп1}}{I_{финр1}} = \frac{3.55}{1} = 3,55; \quad I_{исп2} = \frac{I_{p-исп2}}{I_{финр2}} = \frac{2.95}{0.91} = 3,24;$$

$$I_{исп3} = \frac{I_{p-исп3}}{I_{финр3}} = \frac{2.55}{0,84} = 3,04$$

Сравнение интегрального показателя эффективности вариантов исполнения разработки позволит определить сравнительную эффективность проекта и выбрать наиболее целесообразный вариант из предложенных. Сравнительная эффективность проекта (\mathcal{E}_{cp}):

$$\mathcal{E}_{cp} = \frac{I_{исп.1}}{I_{исп.2}} \quad (67)$$

Таблица 4.17 – Сравнительная эффективность разработки

№ п/п	Показатели	Исп.1	Исп.2	Исп.3
1	Интегральный финансовый показатель разработки	1	0,91	0,84
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	3,55	2,95	2,55
3	Интегральный показатель эффективности	3,55	3,24	3,04
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1,06		

Вывод: Анализ качества и перспективности данной разработки показал, что она является перспективной, средневзвешенное значение показателя качества и перспективности составило 94%

Проведя расчет энерго-ресурсоэффективности и сравнив различные исполнения, приходим к выводу, что исполнение № 1 является наилучшим вариантом, но, тем не менее, исполнение №2 также возможно, так как показатель приближенно равен показателю энерго-ресурсоэффективности исполнения №1.

В ходе данного исследования было выявлено, что при расчете безопасного расстояния при горении разлива топлива, наиболее выгодно с экономической точки зрения проводить данные расчеты в электронном виде на компьютерах, чем не используя расчётные программы. Данный метод постепенно внедряется на рынок данного вида услуг, но при своей энерго-эффективности имеет ряд отрицательных характеристик, такие например как низкая помехоустойчивость и отсутствие оборудованных рабочих мест для проведения такого вида расчетов. Интегральный показатель эффективности

исполнения №1 – 3,55, в сравнении с исполнением №2 – 3,24, следовательно эффективность выше у первого исполнения.

В ходе исследования был рассчитан бюджет исследования, включающий материальные затраты, накладные расходы, затраты по основной и дополнительной заработной плате и отчисления во внебюджетный фонд – наиболее выгодное исполнение №3 – 69931,3 рублей.

5. СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ

Введение

Объектом данного исследования является участок магистрального нефтепровода. Учитывая то, что данные объекты оказывают негативное воздействие на окружающую среду, необходимо изучить вопрос экологической безопасности, так как на подобных производствах не редки случаи утечек нефтепродуктов и загрязнение почвы и воды.

Также, в связи с тем, что в течение рабочего времени сотрудник, занимающийся обслуживанием участка линейного нефтепровода, находится под постоянным воздействием вредных и опасных факторов производства, его условия труда необходимо оптимизировать, создав безопасные условия труда и регламентировав режимы труда и отдыха.

В данном разделе рассматриваются такие вопросы, как определение оптимальных условий труда работника на линейном нефтепроводе – анализ вредных и опасных факторов производственной среды и предложения по сокращению данных факторов до минимума.

5.1 Производственная безопасность

5.1.1 Анализ вредных факторов проектируемой производственной среды.

На работника, занимающегося обслуживанием линейного участка нефтепровода действуют такие вредные факторы, как:

- 1) Освещенность;
- 2) Шум;
- 3) Микроклимат;
- 4) Химические вещества (летучие соединения нефти – углеводороды алифатические предельные).

Таблица 5.1 – Вредные производственные факторы и нормативные документы, определяющие их нормирование

Вредные производственные факторы	Нормативные документы
1.1 Освещение	1) СНиП 23-05-95 "Естественное и искусственное освещение"
1.2 Шум	2) ГОСТ 12.1.003-2014 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Шум. Общие требования безопасности 3) СН 2.2.4/2.1.8.562-96 «Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки»
1.3 Микроклимат	4) СанПиН 2.2.4.548-96 «Санитарные правила и нормы. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений»
1.4 Химические вещества	5) ГН 2.2.5.1313-03 «Предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны» 6) Правила технической эксплуатации резервуаров магистральных нефтепроводов и нефтебаз РД 153-39.4-078-01

5.1.1.1 Освещенность

Правильно спроектированное и рационально выполненное освещение производственных помещений оказывает положительное воздействие на работающих, способствует повышению эффективности и безопасности труда, снижает утомление и травматизм, сохраняет высокую работоспособность.

Существует три вида освещения - естественное, искусственное и совмещенное (естественное и искусственное вместе).

Согласно СНиП 23-05-95 "Естественное и искусственное освещение" [25] на территории прокладки нефтепровода необходимо применить систему комбинированного освещения.

Искусственное освещение, применяемое для освещения нефтепроводов, подразделяется на рабочее, аварийное, охранное и дежурное.

Аварийное освещение разделяется на освещение безопасности и эвакуационное.

Для общего искусственного освещения помещений следует использовать, как правило, разрядные источники света, отдавая предпочтение при равной мощности источникам света с наибольшей световой отдачей и сроком службы.

Рабочее освещение следует предусматривать для всех помещений зданий, а также участков открытых пространств, предназначенных для работы, прохода людей и движения транспорта. Для помещений, имеющих зоны с разными условиями естественного освещения и различными режимами работы, необходимо раздельное управление освещением таких зон.

При необходимости часть светильников рабочего или аварийного освещения может использоваться для дежурного освещения.

Нормируемые характеристики освещения в помещениях и снаружи зданий могут обеспечиваться как светильниками рабочего освещения, так и совместным действием с ними светильников освещения безопасности и (или) эвакуационного освещения.

В производственных помещениях освещенность проходов и участков, где работа не производится, должна составлять не более 25% нормируемой освещенности, создаваемой светильниками общего освещения, но не менее 75 лк при разрядных лампах и не менее 30 лк при лампах накаливания.

На участках с полностью автоматизированным технологическим процессом следует предусматривать освещение для наблюдения за работой оборудования, а также дополнительно включаемые светильники общего и местного освещения для обеспечения необходимой освещенности при ремонтно-наладочных работах.

Согласно требованиям ПУЭ и СНиП 23-05-95 [25] минимальная освещенность на территории резервуарного парка должна быть:

- для парка в целом - не менее 5 лк;
- в местах измерений уровня нефти в резервуаре и управления задвижками в резервуарном парке - 10 лк;
- на лестницах и обслуживающих площадках - 10 лк;
- в местах установки контрольно-измерительных приборов (комбинированное освещение с переносными светильниками) - 30 лк;
- на вспомогательных проездах - 0,5 лк;
- на главных проездах 1-3 лк.

5.1.1.2 Шум

Шум представляет собой сочетание множества звуков, которые распространяются в пространстве благодаря волнообразным колебаниям источника звука. Это называется распространением звуковой волны, которое постепенно затухает при расходовании энергии на распространение в среде. От величины энергии источника звука зависит сила звука, оцениваемая звуковым давлением, которое измеряется в ньютонах на квадратный метр (Н/м²) [26].

Воздействие шума на организм человека вызывает негативные изменения, прежде всего в органах слуха, нервной и сердечно-сосудистой системах. Степень выраженности этих изменений зависит от параметров шума, стажа работы в условиях воздействия шума, длительности действия шума в течение рабочего дня, индивидуальной чувствительности организма.

Действие шума на организм человека отягощается вынужденным положением тела, повышенным вниманием, нервно-эмоциональным напряжением, неблагоприятным микроклиматом.

Для проектируемой рабочей зоны – участок нефтепровода, определяем несколько источников шума:

- газоперекачивающий агрегат;
- блоки редуцирования;
- системы вентиляции;
- системы технологического сброса газа;
- агрегаты воздушного охлаждения газа (АВО газа).

Выбор расчетных точек (для организаций с однотипным оборудованием в средней части цеха, для КС с разнотипным оборудованием на рабочем месте наиболее шумного оборудования). Высота расчетной точки от пола 1,5 м (если работа выполняется стоя) и 1,2 м (если работа выполняется сидя); расстояние расчетной точки от наибольшего контура агрегата не менее 0,5 м [27].

Таблица 5.2 - Допустимые значения уровней звукового давления в октавных полосах частот и уровня звука, при эксплуатации нефтепровода

Уровни звукового давления в октавных полосах со среднегеометрическими частотами									Уровни звука в дБА
31,5 Гц	63 Гц	125 Гц	250 Гц	500 Гц	1000 Гц	2000 Гц	4000 Гц	8000 Гц	
103	94	87	82	78	75	73	71	65	80

Для сотрудника, работающего в непосредственной близости к нефтепроводу существует ряд мероприятий по снижению уровня шума – снижение шума в источнике его возникновения; покрытие наиболее шумных агрегатов звукоизолирующими кожухами; устройство звукоизолирующих кабин наблюдения, управления, отдыха и т.п.; подбор звукопоглощающих

ограждений, перекрытий, дверей и окон; установка переносных акустических экранов, а также звукоизолирующих кожухов, шумопоглощающих покрытий на трубопроводы; устройство виброизолированных фундаментов и амортизаторов под оборудование для предотвращения передачи вибрации строительным конструкциям; использование индивидуальных средств защиты от шума [28].

Наиболее рациональным является снижение шума нефтеперекачивающих агрегатов в источнике его возникновения. Однако для этого необходимо проводить глубокие исследования, изменять конструкцию и технологию изготовления агрегатов.

5.1.1.3 Микроклимат

Микроклимат производственных помещений - это метеорологические условия внутренней среды помещений, которые определяются действующими на организм человека сочетаниями температуры, влажности, скорости движения воздуха и теплового излучения; комплекс физических факторов, оказывающих влияние на теплообмен человека с окружающей средой, на тепловое состояние человека и определяющих самочувствие, работоспособность, здоровье и производительность труда. Показатели микроклимата: температура воздуха и его относительная влажность, скорость его движения, мощность теплового излучения рассчитываются, используя категории работ по энергозатратам.

Оценивая условия труда специалиста, занимающегося эксплуатацией нефтепровода, отнесем его к категории Пб: к категории Пб относятся работы с интенсивностью энерготрат 201-250 ккал/ч (233-290 Вт), связанные с ходьбой, перемещением и переноской тяжестей до 10 кг и сопровождающиеся умеренным физическим напряжением (ряд профессий в механизированных литейных, прокатных, кузнечных, термических, сварочных цехах машиностроительных и металлургических предприятий и

т.п.) Работы проводятся как в производственном помещении с нефтеперекачивающим оборудованием, так и на открытом воздухе [29].

Оптимальные нормы микроклимата в рабочей зоне в соответствии с требованиями СанПиН 2.2.4.548-96 [30] приведены в таблице 5.3, допустимые нормы микроклимата приведены в таблице 5.4.

Таблица 5.3 – Оптимальные нормы микроклимата в рабочей зоне

Сезон года	Категория тяжести выполняемых работ	Температура воздуха, С	Температура поверхности, С	Относительная влажность, %	Скорость движения воздуха, м/сек
Теплый	Пб	19-21	18-22	60-40	0,2
Холодный	Пб	17-19	16-20	60-40	0,2

Таблица 5.4 – Допустимые нормы микроклимата в рабочей зоне

Сезон года	Категория тяжести выполняемых работ	Температура воздуха, С	Температура поверхности, С	Относительная влажность, %	Скорость движения воздуха, м/сек
Теплый	Пб	16-18,9 21,1-27	15-28	15-75	0,2 0,5
Холодный	Пб	15-16,9 19,1-22	14-23	15-75	0,2 0,4

В целях профилактики неблагоприятного воздействия микроклимата должны быть использованы защитные мероприятия такие как:

системы местного кондиционирования воздуха, компенсация неблагоприятного воздействия одного параметра микроклимата изменением другого, спецодежда и другие средства индивидуальной защиты, помещения для отдыха и обогрева, регламентация времени работы, в частности, перерывы в работе, сокращение рабочего дня, увеличение продолжительности отпуска и уменьшение стажа работы.

При работах на открытом воздухе работа при температуре более 37 °С относится к опасным. Работу необходимо планировать так, чтобы опасные работы проводить в утреннее или вечернее время. Необходимо соблюдать питьевой режим. Температура воды и напитков должна составлять 12-15 °С (именно эта температура является оптимальной). Рекомендуется предусмотреть выдачу соков, витаминизированных напитков, молочно-кислых напитков, кислородно-белковых коктейлей – для возмещения потерь с потом солей и микроэлементов. Общее количество воды, как правило, не ограничивается, но объем однократного приема лучше регламентировать – не более одного стакана. Однако, помните нежелательно пить выше 1,5 литров жидкости в сутки во избежание чрезмерной нагрузки на почки.

При работе на открытом воздухе при низких температурах время на отдых и обогрев включается в рабочее время, оборудуется помещение для обогрева:

- оборудуется на расстоянии не более 150 метров от рабочего места и может быть стационарным или передвижным;
- площадь на 1 человека 0,1 м², но при этом площадь помещения не должна быть менее 4 м²;
- температура воздуха в помещении должна быть +21-+25 С°;
- по периметру помещение оборудуется нагревательными приборами, расположенными в нижней зоне;
- для быстрого обогрева рук и ног могут устанавливаться дополнительно обогреватели с лучистым теплом, температура которых должна быть в диапазоне +35- +40 С°.
- помещение оборудуется вешалками, скамьями или сиденьями по числу работающих.

Во время работы на холоде работники должны использовать специальные средства индивидуальной защиты, соответствующие текущим климатическим условиям. Этими средствами работодатель обязан обеспечивать работников по мере необходимости. Время пребывания в

условиях низкой температуры должно определяться работодателем в зависимости от климатических условий, в соответствии с допустимой степенью охлаждения человека.

Для предупреждения травм – горячие поверхности изолируются или ограждаются, при необходимости устанавливается безопасное время (длительность) контакта с поверхностью. На открытом воздухе необходимо использовать головные уборы, солнцезащитные очки.

5.1.1.4 Химические вещества

В химическом отношении нефть – сложная смесь углеводородов (УВ) и углеродистых соединений. Она состоит из следующих основных элементов: углерод (84-87%), водород (12-14%), кислород, азот, сера (1-2%). Содержание серы может достигать до 3-5%. В нефтях выделяют следующие части: углеводородную, асфальто-смолистую, порфирины, серу и зольную. В каждой нефти имеется растворенный газ, который выделяется, когда она выходит на земную поверхность.

Главную часть нефти составляют углеводороды различные по своему составу, строению и свойствам, которые могут находиться в газообразном, жидком и твердом состоянии. В зависимости от строения молекул они подразделяются на три класса – парафиновые, нафтеновые и ароматические. Но значительную часть нефти составляют углеводороды смешанного строения, содержащие структурные элементы всех трех упомянутых классов.

Парафиновые углеводороды, или как их еще называют, метановые УВ (алкановые, или алканы). Сюда относят метан CH_4 , этан C_2H_6 , пропан C_3H_8 , бутан и изобутан, имеющие формулу C_4H_{10} .

Наибольшую опасность для сотрудника, занимающегося обслуживанием нефтепровода, представляют летучие соединения нефти (углеводороды алифатические предельные), ПДК рабочей зоне = 900-300 мг/м^3 , преимущественное состояние – пары, класс опасности вещества – 4 [30].

В целях профилактики воздействия вредных химических веществ на человека необходимо использовать средства индивидуальной защиты: костюмы с маслонефтезащитной пропиткой, рукавицы. При ликвидации аварии или утечки: костюм ОЗК, дыхательный аппарат [31].

5.1.2 Анализ опасных факторов проектируемой производственной среды

Опасные факторы:

- 1) Электрический ток
- 2) Статическое электричество

Опасный фактор производства	Нормативные документы
2.1 Электрический ток	1) ГОСТ 12.1.038-82 «Система стандартов безопасности труда. Электробезопасность. Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов»
2.2 Статическое электричество	2) ГОСТ 12.4.124-83 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Средства защиты от статического электричества. Общие технические требования

5.1.2.1 Электрический ток

Согласно проектированию нефтепроводов, все участки оснащены системой освещения, поэтому необходимо учитывать данный факт при расчете возможного опасного воздействия электрического тока на сотрудника, обслуживающего нефтепровод. Ниже приведен перечень мер по снижению опасности воздействия электрического тока [32]:

- 1) Во всех помещениях необходимо присоединять открытые проводящие части светильников общего освещения и стационарных электроприемников (электрических плит, кипятильников, бытовых кондиционеров, электрополотенц и т.п.) к нулевому защитному проводнику.

2) В помещениях зданий металлические корпуса однофазных переносных электроприборов и настольных средств оргтехники класса 1 по ГОСТ 12.2.007.0-75 "ССБТ. Изделия электротехнические. Общие требования безопасности" должны присоединяться к защитным проводникам трехпроводной групповой линии. К защитным проводникам должны подсоединяться металлические каркасы перегородок, дверей и рам, используемых для прокладки кабелей.

3) Для защиты групповых линий, питающих штепсельные розетки для переносных электрических приборов, рекомендуется предусматривать устройства защитного отключения (УЗО).

4) Если устройство защиты от сверхтока (автоматический выключатель, предохранитель) не обеспечивает время автоматического отключения 0,4 с при номинальном напряжении 220 В из-за низких значений токов короткого замыкания и установка (квартира) не охвачена системой уравнивания потенциалов, установка УЗО является обязательной.

5) При установке УЗО последовательно должны выполняться требования селективности. При двух- и многоступенчатой схемах УЗО, расположенное ближе к источнику питания, должно иметь уставку и время срабатывания не менее чем в 3 раза большие, чем у УЗО, расположенного ближе к потребителю.

6) В зоне действия УЗО нулевой рабочий проводник не должен иметь соединений с заземленными элементами и нулевым защитным проводником.

7) Во всех случаях применения УЗО должно обеспечивать надежную коммутацию цепей нагрузки с учетом возможных перегрузок.

8) Рекомендуется использовать УЗО, представляющее собой единый аппарат с автоматическим выключателем, обеспечивающим защиту от сверхтока. Не допускается использовать УЗО в групповых линиях, не имеющих защиты от сверхтока, без дополнительного аппарата, обеспечивающего эту защиту. При использовании УЗО, не имеющих защиты

от сверхтока, необходима их расчетная проверка в режимах сверхтока с учетом защитных характеристик вышестоящего аппарата, обеспечивающего защиту от сверхтока.

5.1.2.2 Статическое электричество

Статическое электричество — совокупность явлений, связанных с возникновением, сохранением и релаксацией свободного электрического заряда на поверхности или в объеме диэлектриков или на изолированных проводниках.

Особое внимание необходимо обращать на способность элементов одежды работников накапливать статическое электричество, поэтому при эксплуатации элементов нефтепровода, при проведении ремонтных работ резервуаров, где могут находиться остаточные пары нефтепродуктов, необходимо соблюдать правила безопасности, приведенные в ГОСТ 12.4.124-83 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Средства защиты от статического электричества. Общие технические требования. И использовать средства защиты от статического электричества (СЗСЭ) [33].

1) СЗСЭ должны исключать возникновение искровых разрядов статического электричества с энергией, превышающей 40% от минимальной энергии зажигания окружающей среды, или с величиной заряда в импульсе, превышающей 40% от воспламеняющего значения заряда в импульсе для окружающей среды.

2) Специальная одежда, специальная обувь, предохранительные приспособления антистатические обеспечивают защиту при работе с электроустановками напряжением до 1000 В.

3) Независимо от применения других СЗСЭ заземление должно применяться на всех электропроводных элементах технологического оборудования и других объектов, на которых возможно возникновение или накопление электростатических зарядов, и соответствовать требованиям ГОСТ 12.2.007.0-75 и ГОСТ 21130-75.

4) Выполнение заземляющих устройств должно соответствовать требованиям ГОСТ 12.1.030-81 и ПУЭ. Величина сопротивления заземляющего устройства, предназначенного исключительно для защиты от статического электричества, должна быть не выше 100 Ом.

5) Заземление трубопроводов и других объектов, расположенных на наружных эстакадах, должно быть выполнено в соответствии с действующими указаниями по проектированию и устройству молниезащиты зданий и сооружений*, утвержденными Госстроем СССР.

6) Заземляющие устройства должны применяться на электризующихся движущихся узлах производственного оборудования, изолированных от заземленных частей.

7) Для изготовления антиэлектростатической специальной одежды должны применяться материалы с удельным поверхностным электрическим сопротивлением не более 10^7 Ом.

8) Электрическое сопротивление между токопроводящим элементом антиэлектростатической специальной одежды и землей должно быть от 10^6 до 10^8 Ом.

9) Электрическое сопротивление между подпятником и ходовой стороной подошвы обуви должно быть от 10^6 до 10^8 Ом.

5.2 Экологическая безопасность

1. Охрана атмосферного воздуха от загрязнения [34]

К основным мероприятиям по охране атмосферного воздуха относятся:

- оборудование резервуаров понтонами, плавающими крышами и установками по улавливанию паров легких фракций (УЛФ);
- уменьшение количества разъемных соединений, применение сварных соединений в технологических трубопроводах, 100 % контроль сварных швов физическими методами;

- сбор утечек от уплотнений насосов и другого технологического оборудования в закрытые дренажные емкости;
- обеспечение работы насосных станций по схеме «из насоса в насос»;
- применение (по возможности) в качестве топлива в котельных природного или попутного газа с целью снижения образующихся при горении выбросов вредных веществ в атмосферу, использование рекуператоров и экономайзеров, а также обеспечение регулирования соотношения «воздух-топливо»;
- назначение высоты дымовых труб для обеспечения уровня приземных концентраций загрязняющих веществ, не превышающих ПДК для населенных мест, утвержденных Минздравом РФ;
- обустройство и озеленение санитарно-защитной зоны объектов нефтепровода, определяемой на основании расчетов рассеивания загрязняющих веществ и в соответствии с требованиями СанПиН 2.2.1/2.1.1.1031 [35].

2. Охрана поверхностных и подземных вод от загрязнения и истощения.

При проектировании пересечений нефтепроводом водных объектов следует предусматривать:

- защиту рек и водоемов, пересекаемых нефтепроводом, путем применения труб с повышенной толщиной стенки, соответствующей изоляции и защиты нефтепровода от механических повреждений;
- организацию постов наблюдения на судоходных реках;
- рыбоохранные и компенсационные мероприятия при пересечении рек и других водных объектов рыбохозяйственного назначения;
- уменьшение загрязнения водоемов при разработке подводных траншей для укладки нефтепроводов (от сбрасывания в воду грунта) за счет применения способов производства работ и механизмов, приводящих к увеличению бытовой мутности не более чем на 5 %;

- запрещение прокладки нефтепроводов на участках водоемов, имеющих особую ценность для воспроизводства рыбных запасов (нерестилища, зимовальные ямы и т.д.), с целью защиты рыбохозяйственных водоемов и сохранения рыбных запасов.

3. Охрана водоемов от загрязнения сточными водами от НПС и других объектов нефтепровода должна осуществляться с учетом требований действующих нормативных документов, а также путем:

- сокращения потребления свежей воды;
- применения технологических процессов с использованием новых видов оборудования, без потребления воды;
- применения оборотной системы водоснабжения, при которой забор свежей воды применяется только для подпитки системы водоснабжения;
- применения воздушного охлаждения агрегатов;
- сокращения сброса сточных вод в водоемы и уменьшения концентрации вредных веществ в сбрасываемых стоках;
- повторного использования очищенных сточных вод (при наличии потребителей);
- утилизации уловленной нефти путем закачки ее в нефтепровод или в топливные резервуары;
- сбора дождевых стоков в резервуарном парке в ливнеприемные канализационные колодцы;
- устройства обвалований из грунтов с содержанием глинистых частиц или устройства глиняных замков, других противодренирующих устройств, когда обвалование сооружается из дренирующих грунтов;
- исключения сброса в хозяйственную канализацию подтоварных вод из резервуаров без очистки;
- отвода нефтесодержащих сточных вод от магистральной насосной в резервуары для сброса технологических утечек, с устройством на сети трубчатого гидрозатвора и грязеуловителя;

- водоотведения с НПС сточных вод, соответствующих нормативным требованиям;
- вывоза выделенных при очистке воды твердых отходов с территории НПС в места, согласованные с органами Минприроды и Госсанэпиднадзора;
- уменьшения концентрации вредных веществ до предельно-допустимых в створе смешения путем применения совершенных средств очистки с учетом гидрологической характеристики водоема;
- водоотведения, выполненного в соответствии с требованиями к охране поверхностных и подземных вод от загрязнения, определяемыми соответствующими ГОСТами, с приведением оценки эффективности намечаемых мероприятий по охране поверхностных и подземных вод от загрязнения;
- устройства проволочных ограждений по железобетонным столбам открытых емкостных сооружений (пруды-отстойники, биологические пруды, пруды-испарители, шламонакопители, аварийные амбары и др.);
- устройства в открытых емкостных сооружениях противofiltrационных покрытий, проектируемых на основе гидрогеологических изысканий.

4. Восстановление (рекультивация) земельных участков, использование плодородного слоя почвы, охрана недр, растительного и животного мира.

При разработке проекта следует учитывать и предусматривать следующее:

- обоснование способов и объемов снятия и хранения плодородного слоя почвы, транспортирования его к месту укладки (или временного хранения), нанесение плодородного слоя почвы на восстанавливаемые участки или малопригодное угодье;
- недопущение использования земли плодородного слоя на подсыпки, перемишки и какие-либо другие земляные и строительные работы, поскольку эта земля подлежит использованию для восстановления качества

нарушенных земельных угодий местности, в связи с проведением строительных или каких-либо других работ;

- восстановление водосборных канав, дренажных систем, снегозадерживающих сооружений и дорог после окончания строительных или ремонтных работ;

- разработку проектных решений по восстановлению земельных участков и приведению их путем технической и биологической рекультивации в состояние, пригодное для использования по назначению;

- проведение определенных защитных мероприятий по исключению развития опасных экзогенных процессов (эрозия, карст, оползни, суффозия и др.), например, укрепление грунтов посевом трав, или посадкой кустарников, мониторинг оползневых процессов и т.д.;

- конкретизацию мероприятий по защите животного мира, при наличии путей миграции животных по трассе нефтепровода;

- компенсацию ущерба животному и растительному миру от реализации проекта суммами выплат, заложенными в капитальных вложениях на строительство;

- направление компенсационных выплат на восстановление или обновление ресурсов растительного и животного мира (по согласованию с природоохранными органами).

5.3 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

В результате аварии на участке нефтепровода может возникнуть несколько видов чрезвычайных ситуаций.

- 1) ЧС природного характера, связанная с утечкой нефтепродуктов и их попаданием в почвенный слой.
- 2) ЧС природного характера, связанная с утечкой нефтепродуктов и их попаданием в подземные воды или в открытый водоем.
- 3) Возгорание разлива нефтепродуктов – пожар пролития.
- 4) Взрыв участка трубопровода при образовании избыточного давления паров нефтепродуктов.

Наиболее вероятной чрезвычайной ситуацией на участке линейного трубопровода является пожар в результате утечки нефти, взрыв паров нефти с последующим горением. Существует ряд систем, которыми необходимо оборудовать нефтепровод для оповещения о пожаре и автоматического тушения в источнике возгорания.

1. Автоматическая система пожаротушения [34]

При проектировании систем автоматизации пожаротушения кроме настоящих норм следует использовать следующие нормативные документы: СНиП 2.04.09; СНиП 2.11.03; ППБ-01; НПБ 104; НПБ 110; ВППБ 01-05; ПУЭ; ГОСТ Р 51330.13; РД 153-39.4-087.

Автоматизация системы пожаротушения должна включать:

- автоматическую селективную пожарную сигнализацию места пожара;
- автоматическую световую и звуковую сигнализацию о возникновении пожара;
- автоматическое, дистанционное и местное управление системой автоматического пожаротушения;
- автоматическое включение защиты оборудования, а также при дистанционном и местном пуске установок пожаротушения;
- автоматический контроль исправности системы пожарной сигнализации и пожаротушения;
- возможность снятия (квитирования) звуковой сигнализации; контроль световой и звуковой сигнализации (по вызову);
- автоматическое открытие задвижек систем пожаротушения на горящий объект;
- автоматический запуск насосов подачи раствора пенообразователя и систем охлаждения резервуаров;
- автоматический запуск резервных насосов систем пожаротушения и водоорошения.

2. Селективная (избирательная) сигнализация пожара и дистанционное управление системой автоматического пожаротушения должны предусматриваться в МДП (или в операторной при отсутствии МДП) с дублированием сигнализации о пожаре и срабатывании систем автоматического пожаротушения в пожарном посту и в операторной (при наличии в нем постоянного дежурного персонала).

Автоматизация пенного пожаротушения должна предусматривать:

- автоматизацию заполнения пожарных насосов; автоматическое, дистанционное и местное включение насосов подачи воды и пенообразователя;
- автоматическое дозирование необходимого количества пенообразователя;
- автоматическое включение резервных насосов с электроприводом в случае отказа в работе рабочего насоса или невыхода его на режим в течение установленного времени;
- автоматическое селективное открытие запорной арматуры на линиях подачи пены к защищаемым объектам;
- местное управление устройствами компенсации утечки раствора пенообразователя из трубопроводов и сжатого воздуха из гидропневматических емкостей;
- отключение автоматического пуска насосов;
- сигнализацию минимального давления в напорной сети раствора и пенообразователя;
- автоматический контроль исправности системы пожарной сигнализации;
- автоматический контроль аварийного уровня воды и температуры в резервуарах пожарного запаса и уровня пенообразователя в резервуарах для пенообразователя;
- световую и звуковую сигнализацию возникновения пожара, контроль исправности звуковой и световой сигнализации (по вызову);

- снятие звуковой сигнализации.

3. Датчики пожарной сигнализации (пожарные извещатели)

Для сигнализации пожара в нефтенасосных и резервуарах следует применять извещатели, реагирующие на тепло или инфракрасное излучение. Пожарные извещатели теплового типа должны иметь температуру срабатывания, не менее чем на 20 ° С превышающую максимальную температуру окружающего воздуха с учетом местного нагрева оборудования. Запуск системы автоматического пожаротушения должен осуществляться при срабатывании не менее двух пожарных извещателей.

Эта схема может реализовываться двумя лучами, к которым подключены разные датчики, или с помощью пожарного концентратора, принцип действия которого позволяет определить число сработавшихся в луче датчиков.

Схемы автоматизации: Система автоматического пенного пожаротушения должна предусматривать селективное управление запорными устройствами на линиях подачи пены к защищаемым объектам. Аппаратура автоматического управления насосами пожаротушения и запорными устройствами на пенопроводах может устанавливаться в операторной или в МДП НПС. Включение системы автоматического пожаротушения должно сигнализироваться в защищаемом помещении одновременным световым и звуковым сигналами. Система производственно-технического водоснабжения должна предусматривать автоматическую подачу воды в резервуары противопожарного запаса при включении пожарных насосов, а также закрытие задвижек на линиях подачи воды в систему производственно-технического водоснабжения при достижении уровня пожарного запаса в этих резервуарах. Дистанционный контроль уровней и температуры воды в наземных резервуарах противопожарного запаса воды и раствора пенообразователя может осуществляться сигнализацией предельных уровней в операторной (МДП).

В операторной (МДП) для систем пенного пожаротушения следует предусматривать световую и звуковую сигнализацию:

- положения задвижек на линиях подачи пены к защищаемым помещениям;
- максимального и минимального давления в сети подачи воды при работе насосов пожаротушения;
- работы и неисправности насосов системы автоматического пожаротушения;
- предельных уровней и температуры воды в резервуарах противопожарного запаса воды и раствора пенообразователя;
- отключения звуковой сигнализации о пожаре;
- отключения автоматической подачи пены в нефтенасосную.

Звуковые сигналы о пожаре на месте (ревуны, сирены) могут быть общими с сигнализацией загазованности в помещениях или установках.

Световые сигналы о пожаре и загазованности в защищаемых помещениях должны быть отдельными.

5.4 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

В данном разделе ВКР использовались нормативные документы, определяющие допустимый уровень показателей рабочей зоны и специальные нормы трудового законодательства для сотрудников при опасных и вредных условиях труда.

Работник, занимающийся обслуживанием нефтеперегонных установок, работает вахтовым методом, поэтому правовое регулирование трудовой деятельности обеспечивается Трудовым кодексом РФ [36]. Согласно ТК РФ [36] к работам, выполняемым вахтовым методом, не могут привлекаться работники в возрасте до восемнадцати лет, беременные женщины и женщины, имеющие детей в возрасте до трех лет, а также лица, имеющие противопоказания к выполнению работ вахтовым методом в соответствии с медицинским заключением, выданным в порядке,

установленном федеральными законами и иными нормативными правовыми актами Российской Федерации. Работники, привлекаемые на работы вахтовым методом должны быть обеспечены местом проживания, что достигается путем строительства вахтовых поселков, представляющих собой комплекс зданий и сооружений, предназначенных для обеспечения жизнедеятельности указанных работников во время выполнения ими работ и междусменного отдыха, либо в приспособленных для этих целей и оплачиваемых за счет работодателя общежитиях, иных жилых помещениях.

Учитывая, что вахтой считается общий период, включающий время выполнения работ на объекте и время междусменного отдыха, продолжительность вахты не должна превышать одного месяца. В исключительных случаях на отдельных объектах продолжительность вахты может быть увеличена работодателем до трех месяцев с учетом мнения выборного органа первичной профсоюзной организации путем принятия локальных нормативных актов. При вахтовом методе работы устанавливается суммированный учет рабочего времени за месяц, квартал или иной более длительный период, но не более чем за один год и охватывает все рабочее время, время в пути от места нахождения работодателя или от пункта сбора до места выполнения работы и обратно, а также время отдыха, приходящееся на данный календарный отрезок времени. Работодатель обязан вести учет рабочего времени и времени отдыха каждого работника, работающего вахтовым методом, по месяцам и за весь учетный период.

Регламентирование рабочего времени и времени отдыха в пределах учетного периода производится путем разработки графика работы на вахте, который утверждается работодателем с учетом мнения выборного органа первичной профсоюзной организации и доводится до сведения работников не позднее чем за два месяца до введения его в действие.

В указанном графике предусматривается время, необходимое для доставки работников на вахту и обратно. Дни нахождения в пути к месту работы и обратно в рабочее время не включаются и могут приходиться на дни

междувахтового отдыха. Каждый день отдыха в связи с переработкой рабочего времени в пределах графика работы на вахте (день междувахтового отдыха) оплачивается в размере дневной тарифной ставки, дневной ставки (части оклада за день работы), если более высокая оплата не установлена коллективным договором, локальным нормативным актом или трудовым договором. Часы переработки рабочего времени в пределах графика работы на вахте, не кратные целому рабочему дню, могут накапливаться в течение календарного года и суммироваться до целых рабочих дней с последующим предоставлением дополнительных дней междувахтового отдыха.

При проведении работ на открытом воздухе в соответствии с требованиями Трудового кодекса РФ работодатель имеет право допустить к работе на холоде только лиц, которые прошли предварительные медицинские осмотры и были признаны годными к работе на морозе. В силу статьи 109 Трудового кодекса РФ, лица, работающие на открытом воздухе или в неотапливаемых помещениях должны иметь рабочий график с учетом специальных перерывов для отдыха и обогрева. Такие перерывы являются обязательными и подлежат включению в рабочее время, подлежащее оплате. Во время перерывов работники должны находиться в помещениях, оборудованных для отдыха с температурой воздуха на уровне 21 - 25 °С. В помещениях обязательно должны быть устройства, предназначенные для обогрева рук и стоп, и поддерживающие температуру поверхности в диапазоне 35 - 40 °С.

Работникам, выполняющим работы вахтовым методом, за каждый календарный день пребывания в местах производства работ в период вахты, а также за фактические дни нахождения в пути от места нахождения работодателя (пункта сбора) до места выполнения работы и обратно выплачивается взамен суточных надбавка за вахтовый метод работы.

Также для работников, выезжающих для выполнения работ вахтовым методом в районы Крайнего Севера и приравненные к ним местности из других районов в ТК РФ [36] предусмотрены:

- районный коэффициент и выплачиваются процентные надбавки к заработной плате в порядке и размерах, которые предусмотрены для лиц, постоянно работающих в районах Крайнего Севера и приравненных к ним местностях;
- ежегодный дополнительный оплачиваемый отпуск в порядке и на условиях, которые предусмотрены для лиц, постоянно работающих: в районах Крайнего Севера, - 24 календарных дня; в местностях, приравненных к районам Крайнего Севера, - 16 календарных дней.
- включение дней в стаж работы, дающий право работникам, выезжающим для выполнения работ вахтовым методом в районы Крайнего Севера и приравненные к ним местности из других районов, на соответствующие гарантии и компенсации, включаются календарные дни вахты в районах Крайнего Севера и приравненных к ним местностях и фактические дни нахождения в пути, предусмотренные графиками работы на вахте.

В соответствии с законодательством на работах с вредными или опасными условиями труда, а также на работах, связанных с загрязнением, работодатель обязан бесплатно обеспечить выдачу сертифицированных средств индивидуальной защиты согласно действующим типовым отраслевым нормам бесплатной выдачи работникам спецодежды, обуви и других средств индивидуальной защиты в порядке, предусмотренном «Правилами обеспечения работников специальной одеждой, специальной обувью и другими средствами индивидуальной защиты» РД 153-39.4-056-00 Правила технической эксплуатации магистральных нефтепроводов [37], или выше этих норм в соответствии с заключенным коллективным договором или тарифным соглашением. Так, например, для сотрудника, занимающегося обслуживанием нефтеперегонных установок предусмотрена выдача формы: костюм хлопчатобумажный – 1 штука, рукавицы комбинированные – 6 пар.

В области охраны труда и безопасности жизнедеятельности трудовую деятельность регламентируют следующие правовые, нормативные акты, инструктивные акты в области охраны труда и отраслевые документы, приведенные ниже.

Основным нормативным документом являлся Правила технической эксплуатации резервуаров магистральных нефтепроводов и нефтебаз РД 153-39.4-078-01, но и для каждого показателя использовались дополнительные нормативные документы.

Так, например, для определения показателей освещенности рабочей зоны, использовался следующий нормативный документ – СНиП 23-05-95 «Естественное и искусственное освещение», согласно которому минимальная освещенность на территории резервуарного парка должна быть: для парка в целом - не менее 5 лк; в местах измерений уровня нефти в резервуаре и управления задвижками в резервуарном парке - 10 лк.

Для оценки допустимого уровня шума - СН 2.2.4/2.1.8.562-96 «Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки», согласно которому допустимый уровень звука на рабочих местах должен быть равен 80 дБА. Используя ГОСТ 12.1.003-83 «Система стандартов безопасности труда. Шум. Общие требования безопасности», удалось изучить меры по снижению уровня шума на рабочем месте, такие как снижение шума в источнике его возникновения; покрытие наиболее шумных агрегатов звукоизолирующими кожухами; устройство звукоизолирующих кабин наблюдения, управления, отдыха и т.п.; подбор звукопоглощающих ограждений, перекрытий, дверей и окон; установка переносных акустических экранов, а также звукоизолирующих кожухов, шумопоглощающих покрытий на трубопроводы; устройство виброизолированных фундаментов и амортизаторов под оборудование для предотвращения передачи вибрации строительным конструкциям; использование индивидуальных средств защиты от шума.

Для оценки воздействия вредных химических веществ на работника, находящегося в непосредственной близости к объекту, транспортирующему нефтепродукты, использовался ГН 2.2.5.1313-03 «Предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны», согласно которому основную опасность для рабочего вблизи нефтепровода составляют летучие соединения нефти, ПДК которых в рабочей зоне составляют 900-00 мг/м³, класс опасности вещества – 4. Основываясь на этом, созданы правила эксплуатации оборудования нефтепровода, учитывающие безопасность работника.

- 1) Работы по зачистке и дегазации резервуаров, некоторые виды ремонта (изоляция внутренней поверхности и др.) относятся к газоопасным, выполняются по наряду-допуску на проведение огневых (ремонтных) работ. Эти работы должны выполняться только бригадой в составе не менее двух человек.
- 2) К зачистке, дегазации и проведению ремонта допускаются лица, прошедшие инструктаж по технике безопасности, медицинский осмотр и сдавшие экзамен на допуск к работе.
- 3) Работы по зачистке и ремонту резервуаров и резервуарного оборудования проводятся только в дневное время. Запрещается проводить работы по зачистке во время грозы.
- 4) Для приведения резервуара в безопасное состояние перед проведением ремонтных работ с помощью дегазации необходимо обеспечить содержание паров нефти: не более 0,3 г/м³ при выполнении любых видов работ, связанных с пребыванием персонала внутри резервуара без защитных средств; не более 2,0 г/м³ при выполнении любых видов работ с доступом персонала в защитных средствах дыхания внутрь резервуара.
- 5) Техническое обслуживание и очистку резервуаров с плавающей крышей следует проводить после установки крыши на опорные стойки.
- 6) К работам внутри резервуаров разрешается приступать, если концентрация газов не превышает предельно допустимых концентраций

вредных веществ в воздухе рабочей зоны, а температура не превышает допустимые санитарные нормы. Необходимо периодически, но не реже чем через каждые 2 ч, осуществлять контроль за состоянием воздушной среды на месте проведения ремонтных (огневых) работ, а при обнаружении в воздухе паров нефти (углеводородов, сероводорода), концентрация которых превышает ПДК, начальник объекта, участка должен прекратить выполнение работ и принять меры по ликвидации очагов загазованности, а при концентрации 20 % от нижнего предела воспламенения вывести работников за пределы обвалования, известить руководителей объекта и принять меры к приведению рабочего места в соответствие с требованиями санитарных норм.

7) В процессе выполнения работ внутри резервуара (монтаж моечного оборудования, ручная очистка, огневые и ремонтные работы и т.п.) необходимо проводить принудительную вентиляцию газового пространства резервуара.

8) Для ориентировки обслуживающего персонала при зачистке резервуара должен быть установлен вымпел, указывающий направление ветра. Запрещается проводить вскрытие и дегазацию резервуара (принудительную и естественную) при скорости ветра менее 1 м/с.

При анализе опасных факторов производственной среды использовался нормативный документ ГОСТ 12.1.038-82 «Система стандартов безопасности труда. Электробезопасность. Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов» и ГОСТ 12.4.124-83 «Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Средства защиты от статического электричества. Общие технические требования» - для определения методов борьбы со статическим напряжением и методов защиты от воздействия электрического тока.

Значения напряжения и тока прикосновения при переменном токе в 50 Гц равно 2 В и 0,3 А. При том, что Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов при аварийном режиме бытовых электроустановок

напряжением до 1000 В и частотой 50 Гц не должны превышать 65 В при максимально возможном времени контакта в 5 с.

Данный нормативный документ используется для разработки методов защиты от воздействия электрического тока на человека, так для защиты групповых линий, питающих штепсельные розетки для переносных электрических приборов, рекомендуется предусматривать устройства защитного отключения (УЗО), представляющее собой единый аппарат с автоматическим выключателем, обеспечивающим защиту от сверхтока. Не допускается использовать УЗО в групповых линиях, не имеющих защиты от сверхтока, без дополнительного аппарата, обеспечивающего эту защиту. При использовании УЗО, не имеющих защиты от сверхтока, необходима их расчетная проверка в режимах сверхтока с учетом защитных характеристик вышестоящего аппарата, обеспечивающего защиту от сверхтока. Так как существует способность элементов одежды работников накапливать статическое электричество, поэтому при эксплуатации элементов нефтепровода, при проведении ремонтных работ резервуаров, где могут находиться остаточные пары нефтепродуктов, необходимо соблюдать правила безопасности, приведенные в ГОСТ 12.4.124-83 «Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Средства защиты от статического электричества. Общие технические требования», такие как использования средств защиты от статического напряжения.

При проведении оценки экологического воздействия производственного места на окружающую среду использовался документ РД 153-39.4-113-01 «Нормы технологического проектирования магистральных трубопроводов», согласно которого необходимо оборудовать все элементы защитными клапанами, необходимо производить сбор утечек нефти в специально оборудованные места, а также необходимо обустроить санитарно-защитную зону в соответствии с требованиями СанПиН 2.2.1/2.1.1.1200-03: Санитарно-защитные зоны и санитарная классификация предприятий, сооружений и иных объектов, где указаны размеры санитарной

зоны для производства по транспортировке и переработке нефтепродуктов (класс I) – 1000 м.

Для оценки пожарной безопасности использовался такой документ, как РД 153-39.4-113-01 «Нормы технологического проектирования магистральных трубопроводов», согласно которого для обеспечения пожарной безопасности на объекте производства и транспортировки нефтепродуктов необходима установка автоматизированных систем пожаротушения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате работы были изучены и проанализированы поражающие факторы, связанные с аварийными ситуациями на объекте хранения и применения топлива, наиболее опасным среди которых был выбран фактор теплового воздействия на сооружение и человека.

Была изучена нормативная база, в которой приведены безопасные расстояния расположения АЗС на территории города и составляющие от 25 до 50 м от мест с массовым скоплением людей. Произведены расчеты расстояния, на котором происходит травмирование человека при расположении вблизи образовавшегося огненного шара. Так, учитывая степень травмирования человека и интенсивность теплового излучения, необходимого для данной степени травмирования, для огненного шара, образовавшегося при горении 38 т бензина (объем цистерны 50 м³), на расстоянии до 240 м от ОШ человек подвергнется критическому тепловому воздействию, приводящему к летальному исходу, а расстояние в 1500 м и более считается безопасным для человека.

С помощью разработанной и предложенной математической модели можно определять зоны поражения человека: зоны с критическим поражением человека, опасные зоны и безопасные.

Также с помощью данной математической модели были произведены расчеты расстояния от ОШ, на котором происходит зажигание деревянного строения с учетом изменяющейся массы топлива. Так, для огненного шара, образовавшегося при горении 38 т бензина, расстояние, на котором происходит зажигание деревянной конструкции равно 95 м.

Проводя анализ расчетных данных, полученных при изменении массы топлива, можно сделать вывод, что при увеличении массы горючего вещества увеличивается время существования огненного шара, увеличивается расстояние, на котором способно загореться строение от теплового излучения огненного шара, а также время зажигания деревянной конструкции.

Список публикаций

1. Лиховодова Ю.Н. Вероятностно-детерминированная модель расчета безопасного расстояния при разливе топлива. Экология и безопасность в техносфере: современные проблемы и пути решения: сборник трудов Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых, аспирантов и студентов / Юргинский технологический институт. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2017. – 736с.

2. Лиховодова Ю.Н. Вероятностно-детерминированная модель расчета безопасного расстояния при разливе топлива. Техносферная безопасность в XXI веке. VII Всероссийская научно-практическая конференция. Сборник научных трудов магистрантов, аспирантов и молодых ученых – Иркутск: Изд-во ИРНИТУ, 2017. – 424 с.

Список литературы

1. Руководство по безопасности "Методика оценки риска аварий на технологических трубопроводах, связанных с перемещением взрывопожароопасных газов".
2. Оценка пожарного риска автозаправочных станций и разработка способов его снижения. Дисс. к.т.н. Гордиенко Д.М., 2001.
3. Топливо, смазочные материалы и охлаждающие жидкости., Основные способы получения топлив, [Электронный ресурс] – Режим доступа: ULR <http://bibliotekar.ru/5-ohlazhdayuschie-zhidkosti/4.htm> ., дата обращения (13.12.2016г)
4. ГОСТ 12.1.004-76. Государственный стандарт Союза ССР. Система стандартов безопасности труда. Пожарная безопасность. Общие требования
5. ГОСТ 1510-84. Нефть и нефтепродукты. Маркировка, упаковка, транспортирование и хранение [27.06.16]
6. Пожарная безопасность объектов добычи нефти и газа. Дисс. к.т.н. Молчанов В.П., 2007.
7. РД 153-39.4-056-00. Правила технической эксплуатации магистральных нефтепроводов. Введ. 21.07.2000. –М.: Госстрой, 2000. –122 с.
8. Корчагин, А. Б. Надежность технических систем и техногенный риск: учеб. пособие в 2 ч. / А. Б. Корчагин, В.С. Сердюк, А. И. Бокарев. – Омск : Изд-во ОмГТУ, 2011. – 140 с.
9. Акимов, В. А. Надежность технических систем и техногенный риск. / В. А. Акимов, В. Л. Лапин, В. М. Попов, В. А. Пучков, В. И. Томаков, М. И. Фалеев. – М.: ЗАО ФИД «Деловой экспресс», 2002. – 368 с.
10. Приказ Федеральной службы экологическому, технологическому и атомному контролю, Руководство по безопасности., «Методика оценки риска аварии на линейных объектах, транспортирующих взрывопожароопасные жидкости»., 2014г.

11. Оценка вероятности возникновения пожара на объектах нефтепродуктообеспечения / Е.А.Контобойцева, И.Г.Сафронова, М.Г.Контобойцева, Т.Х.Мансуров // Пожарная безопасность: проблемы и перспективы. 2014. – № 1(5). – С. 30–38.
12. R. Bubbico, F. Carbone , J.G. Ramírez-Camacho , E. Pastor , J. Casal Conditional probabilities of postrelease events for hazardous materials pipelines., Process Safety and Environmental Protection 104 (2016) 95–110.
13. Руководство по оценке пожарного риска для промышленных предприятий / д.т.н.: И.А. Болодьян, Ю.Н. Шебеко, В.Л. Карпов, В.И. Макеев., г.Москва, 2006.
14. Приказ Министерства Юстиции Приднестровской Молдавской Республики от 3 июля 2002г № 233 «Об утверждении и введении в действие правил безопасности при эксплуатации автозаправочных станций»
15. ГОСТ 12.3.002-75 ССБТ. Процессы производственные. N 1064 дата введения 01.07.76
16. НПБ 111-98* Автозаправочные станции. Требования пожарной безопасности.
17. Еналеев Р.Ш., Теляков Э.Ш., Демин А.В., Тучкова О.А. Математическая модель крупномасштабного горения газовых смесей. – г. Казань, Российская Федерация
18. Куликов В.В. Огненный шар: метод. рекомендации / В.В.Куликов, И.И.Гаврилин. – Екатеринбург: УрГУПС, 2015. – 24с.
19. Зажигание лесных массивов под действием высотного источника лучистой энергии: Вычислительные технологии Том № 2. / Гришин А.М., Перминов В.А. -- ТГУ, 1997. – 11с.
20. Численные метода решения задач теплообмена и динамики жидкости: Патанкар С.В. - М.: Энергоатомиздат, 1984.-152с.
21. Приложение к Приказу МЧС России от 10.07.2009 N 404 Методика определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах.

22. Г.М. Махвиладзе, Дж.П. Робертс, С.Е. Якуш. Огненный шар при горении выбросов углеводородного топлива. Физика горения и взрыва. 1999. Т.35. №3. с.17-19.
23. Математическое моделирование процессов развития аварий., Анализ опасностей, возможных аварий и их последствий при эксплуатации стационарной АЗС., [Электронный ресурс] – Режим доступа: [ULR http://studbooks.net/508383/bzhd/matematicheskoe_modelirovanie_protseessov_razvitiya_aviariy](http://studbooks.net/508383/bzhd/matematicheskoe_modelirovanie_protseessov_razvitiya_aviariy) ., дата обращения (13.03.2018г)
24. ГОСТ 30402-96 “Материалы строительные. Метод испытаний на воспламеняемость” / ISO 5657/.
25. СНиП 23-05-95 «Естественное и искусственное освещение».
26. ГОСТ 12.1.003-2014 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Шум. Общие требования безопасности.
27. СН 2.2.4/2.1.8.562-96 «Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки»
28. СТО Газпром 2-3.5-043-2005 Защита от шума технологического оборудования ОАО "Газпром".
29. СанПиН 2.2.4.548-96 «Санитарные правила и нормы. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений».
30. ГН 2.2.5.1313-03 «Предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны».
31. Правила технической эксплуатации резервуаров магистральных нефтепроводов и нефтебаз РД 153-39.4-078-01.
32. ГОСТ 12.1.038-82 «Система стандартов безопасности труда. Электробезопасность. Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов».
33. ГОСТ 12.4.124-83 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Средства защиты от статического электричества. Общие технические требования.

34. РД 153-39.4-113-01 «Нормы технологического проектирования магистральных трубопроводов.
35. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1200-03: Санитарно-защитные зоны и санитарная классификация предприятий, сооружений и иных объектов.
36. Трудовой кодекс Российской Федерации" от 30.12.2001 N 197-ФЗ | СТ. 297 ТК РФ (ред. от 05.02.2018).
37. РД 153-39.4-056-00 Правила технической эксплуатации магистральных нефтепроводов. Введ. 21.07.2000. –М.: Госстрой, 2000. –122 с.

Приложение А

Раздел 1.3

Mathematical modeling of oil burning with event tree

Студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1ЕМ61	Лаухина Юлия Николаевна		

Консультант ОКД:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Перминов В.А.	д. ф. - м.н		

Консультант – лингвист ОИЯ ШБИП:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Демьяненко Н.В.			

To date, one of the topical problems is the use of trunk pipelines and emergency situations at these facilities. Accidents occurring at the objects of main pipelines are accompanied by damage to the environment, material losses, and sometimes human casualties. It is of interest to determine the size of possible ignition zones in emergency situations on pipelines located near forest tracts, which are accompanied by the appearance of fireballs. The results of mathematical modeling of such phenomena can be used in the development of preventive measures, as well as in the elimination of their consequences.

Object of research: using mathematical modeling for visualization of accident consequences.

Aim of research: To study methods of mathematical modeling, apply mathematical modeling for calculation and visualization of accident results and calculation safety distance in construction a filling station.

Pipeline transport of liquids and gases is an important sector of the oil and gas industry and, more generally, process industry. After World War II the construction of pipelines experienced a huge increase, connecting different regions of a country and, more and more, different countries. Among the longest pipeline systems we can cite the Natural Gas Transmission System in Russia, with diameters up to 1422 mm and 170.7 thousand kilometers in length, and the Trans-Alaska Pipeline System, transporting crude oil, with a diameter of 1219 mm and a length of 1300 km. The length of pipelines is continuously increasing. As an example, Fig. 1 shows the variation of the total length of the European gas transmission pipelines system in EGIG (2015); a steady growth can be observed during the last forty-three years. When transporting a hazardous fluid, pipelines are a relatively safe system as compared to other transportation modes. Although millions of kilometers of pipelines are installed, the frequency of fatal accidents is relatively low. Comparing the diverse transportation possibilities, Boot (2013) emphasized the following points: – Rail/road/ship are batch modes, while pipeline is a continuous one. – Batch systems imply loading/unloading activities, which involve a significant contribution of human factor. When all major accidents (both in fixed plants and in transportation) are analyzed, it is found that 8–10% have occurred during loading/unloading (Vílchez et al., 1995). – In batch transportation, the failure frequency includes the probability of the truck/railcar/ship being present. The pipeline has a 100% presence factor. However, even though these analyses show that pipeline transport is a relatively safe system, it is a fact that, due to the large number of pipelines on many countries, accidents occur with consequences on people and environment.

Following the release of a hazardous material from a pipeline, the accidental sequence can follow diverse paths according to the released material properties (flammability, toxicity and volatility), the pipeline situation (underground or surface), the release characteristics (full bore rupture, a hole, etc.), the meteorological conditions and the environmental circumstances (urban, rural). The event tree shows a simplified scheme of the diverse possibilities. An important aspect is whether the pipe is aerial or buried. If it is aerial and the fluid is flammable, there is the possibility - especially in a zone with human activity- of immediate ignition. In this case there will be a jet fire if the released material is a gas, or more probably a pool fire (even though a jet fire could also occur) if it is a liquid. If there is no ignition, the product, if liquid, will pollute the soil and potentially the aquifers -there is also the possibility of being drained towards a torrent or a creek- or it will disperse into the atmosphere if it is a gas or a volatile liquid. If the material is flammable, there is still the possibility of delayed ignition; in this case, there can be a flash fire or a vapor cloud explosion and, afterwards, a pool fire (liquid) or a jet fire (gas). In buried pipes the situation will change depending on whether the initial release originated a crater. In this case, similar to that of an aerial pipe, there can be an immediate ignition, with a jet fire (gas release) or a pool fire or a jet fire (liquid release); again, if there is late ignition, a flash fire or a vapor cloud explosion can occur, followed by a pool fire (liquid release) or a jet fire (gas). Without any ignition, environmental pollution will occur. If there is no crater, then a liquid will enter the soil and possibly can create a pool above ground, while a gas can flow through the pores of the soil into the atmosphere.

To identify emergency situations, it is recommended that division of technological equipment (technological systems, object) to the sites. This division is carried out, based on the possibility of separate sealing of these areas in the event of an accident. Emergency situations are considered both in the main and auxiliary technological equipment. In addition, it is necessary to take into account the possibility of fire in administrative buildings, industrial, warehouse, as well as premises for auxiliary technological equipment. In the list of emergency situations, for each site, technological installation, building and construction of an industrial enterprise, groups of emergency situations are identified, which correspond to the same models of the occurrence and development of the accident.

When analyzing emergency situations associated with the depressurization of process equipment, leakage should be considered for different flow diameters (including the maximum - with complete destruction of equipment or supply / discharge pipelines). Once emergencies are identified, the frequency values for their implementation should be established. To determine the frequency of emergency situations, statistical data on the accident

rate or calculated data on the reliability of technological equipment, the relevant specificity of the risk assessment object.

Information on the frequency of emergencies (including those resulting from personnel errors), necessary for the assessment of risk, can be obtained directly from the data on the functioning of the object under study or from data on the functioning of other similar objects. The danger of an accident and an emergency situation may arise when the tanks are opened for preparation for repair and technological work and for repair work in tanks.

Particular danger is represented by pyrophoric iron deposits, which are capable of self-ignition in the presence of atmospheric oxygen at ordinary temperature. The most dangerous pyrophoric compounds in the case if they were formed under a layer of petroleum products. The rapid release of the container from oil products creates favorable conditions for the intensive interaction of these deposits with the oxygen of the steam-air mixture and pyrophoric deposits can be heated to a temperature of 500-700 ° C and serve as a source of ignition and ignition of petroleum products. To prevent an emergency or an accident caused by pyrophoric sediments, it is necessary to carry out a timely cleaning of the tanks. To construct a set of scenarios for the emergence and development of emergencies and accidents, the method of event trees is used. To assess the frequencies of all possible scenarios for the development of accidents, the "event tree" method is widely used. The method of the "event tree" is based on the statistics of failures and failures. The most detailed statistical records of the course of accidents can provide the necessary information for building scenarios for the development of accidents, and also provide an opportunity to assess the likelihood of emergency events. In this thesis, the main attention is paid to the scenario approach to solving problems of hazard identification and assessing the probabilities of emergency situations on the basis of analysis and systematization of statistical data on accidents of reservoirs and gas pipelines that occurred at minus ambient temperatures.

The construction of risk fields includes the construction of fields of damaging factors, individual, collective, ecological risk. The main damaging factors of tanker and gas pipeline accidents are:

1. air shock wave of explosions of clouds of gas-air (fuel-air) mixtures in open space;
2. thermal radiation in case of fire of a gas pipeline or a tank;
3. gassing;
4. fragments formed during the destruction of buildings, structures, technological equipment;
5. Shards of glazing.

The evaluation of the zones of action of the damaging factors is based on the development of mathematical models for determining the parameters of both the damaging

factors of accidents, which precede the emergence of the damaging factors of phenomena, for example the behavior of hazardous substances in the surrounding space.

One of the most important problems encountered in conducting fire risk assessment is the determination of the probabilities of initiating events for possible emergency situations and the likelihood of an emergency and accident transition to different stages of a logical event tree. The greatest difficulty is caused by the collection of necessary information, in particular data on failures of process equipment. Failure is understood as the inability of a number of devices or nodes to perform their functions as a result of a single specific event or cause.

Failures are usually attributed to design flaws, manufacturing errors, errors during operation and maintenance, natural phenomena, human-induced events that may lead to emergencies. Under failure for tanks and pipelines will be understood their depressurization.

The technical reliability is assumed equal to 0.95 for the safety valves of tanks, the system for blocking the processes of supply and processing of the product in the event of an accident, the effectiveness of protecting the installation surface with the help of thermal insulation coatings, the efficiency of the irrigation systems of the installations.

Depending on the nature of depressurization, weather and other conditions, accidents can develop in the form of straits, fires of straits, explosions, fireballs. Explosions and fires can occur with the ignition of a steam-air mixture both inside the capacitive equipment and in an open area.

The field “Incident type” classifies the accidents under four basic categories: fire, release, explosion and gas cloud. However, each basic IT may include more detailed information. To better organize the data, two new fields were added, “General incident” and “Specific incident”, replacing the previous one. So the first field classifies each accident according to the above four basic categories, and the second one indicates the specific type of event. For example, a fire can be a jet fire, a pool fire, etc. If the information related to specific events was incomplete or lacking in some records, only the four basic types were applied.

The field “General incident” indicates the final event/s that occurred, after a loss of containment, and as a result of the possible combinations of basic events. The different combinations may result in: – Release (liquid release): when a loss of containment of a liquid with low volatility occurs, for which a vapor cloud formation has not taken place. This event is typical for substances such as diesel, jet fuel and fuel oil. – Release followed by vapor cloud dispersion (liquid release): it indicates the release of a compressed gas (natural gas), pressurized liquid gas (LPG, ammonia) or volatile liquids (crude oil, gasoline, naphtha and other light petroleum products). In some cases, a liquid pool or liquid migration is also considered. The spillage or release that caused gas clouds was not always reported, nevertheless it is evident that gas/ vapor clouds are a direct consequence of an unwanted gasemission or emanation of vapors

from volatile liquids (toxic and flammable); therefore, all the gas clouds (gases and volatile liquids) were considered to be preceded by a release. – Release followed by fire: when a flammable substance, after the action of an ignition source, leads to a fire. It refers to jet fires, flammable gas clouds, or flammable vapor clouds generated by the vaporization of volatile/nonvolatile liquids. – Release followed by explosion: this event takes place, under the same conditions of the previous one, where a flame front acceleration condition occurs. – Release followed by explosion and fire: when the explosion leads also to a fire of the substance that continues to be released from the rupture site or that has reached another site by migration. By referring to every type of general incident that participates in the events sequence, different types of specific incidents have been defined. In particular, four types of release have been identified: – Leak: it refers to the release of either a gas or a liquid. – Spill: it refers, mainly, to a sudden liquid release from a hole. – Full bore rupture: it refers to the mechanism of rupture, where a crack or a “full bore rupture” damages a part of pipe greater than its diameter. This type of release leads, in most of the cases, to the automatic shut-down of the line. – Physical explosion: it has been defined as a particular case of catastrophic rupture, depending on the length of the section involved, of a compressed gas pipeline or pressurized liquid pipeline. In some cases, the type of initial event that caused the incident was unknown. Whilst a release was generally the cause of a fire or an explosion, such an event was usually cited only if it was of long-lasting and/or if it caused serious damage. Therefore, in cases where the type of initial release could not be determined, these were simply classified as “unknown release”. The spillage or release that caused gas clouds was not always reported, nevertheless it is evident that gas/vapor clouds are a direct consequence of an unwanted gas emission or emanation of vapors from volatile liquids (toxic and flammable); therefore, all the gas clouds (gases and volatile liquids) were considered to be preceded by a release.

Types of events

1. General events

Most of the events (97%) occurred in pipes, and only a few ones in pump or compression stations. The different types of accidents were classified as follows: release, fire, explosion and gas cloud. In all 1063 entries in the database, the information related to general event was known. Their contribution can be seen in Table 2. An initial release was assumed in all cases. Because more than one accidental phenomena can exist in the same accident, the sum of all percentages is more than 100%. Since an initial release was assumed in all cases, for the three remaining events, gas cloud was the most frequent; this event refers both to gases (flammable, corrosive and/or toxic) and volatile liquids (flammable). The second most frequent event was fire, followed by explosion. Practically in two out of three events there

was a gas cloud that eventually dispersed, and in about one out of four there was a fire, while in one out of ten events there was an explosion.

2. Specific events

The specific events involved in the accidents have been analyzed (Table 3). Concerning the type of release, the greatest contribution was due to leaks (40.5% of total), followed by full bore rupture (27.5%) and spill (24.5%). Physical explosion of the pipe occurred with a much lower frequency (4.8% of the total). For the events involving gas cloud dispersion, flammable clouds had a very high frequency (98.8% of the category), which is in good agreement with the fact that most of the high-risk materials in accidents are heavier than air (gasoline, LPG, etc.). Toxic/flammable clouds existed only in 0.8% of the total, and are related to materials such as ammonia and CO. With regard to the events classified as involving fire, the most frequent one was jet fire (54.3% of the category, 13.1% of the total), usually found in the release of a pressurized fluid through a hole. It was followed by flash fire (5.2% of the total). However, it should be mentioned the fact that a vapor cloud explosion always involves a flash fire as well, even though in such case the databases usually mention only the explosion as a major accident (following the criterion usually applied in risk analysis).

Accidents distribution according to their cause

1. Distribution by general cause

With regard to the general causes of the accidents, the possibilities under consideration were the following: third party activity, corrosion, mechanical failure, operational/human error, natural hazards and equipment failure. Of the 1063 accidents taken into account in this survey, the general cause was known only in 759. The contribution of the various general causes has been summarized in Table 4. Three of them show a substantial contribution: third party activity (37.7% of known cases), corrosion (20.9%) and mechanical failure (19.5%); operational/human error, natural hazards and equipment failure have a lower contribution. Accidents can be classified as having a single cause or more than one cause. In 756 records there was only one single cause. Of these, third party activity was the most frequent one, followed by corrosion and mechanical failure. More than one cause were found only in three accidents. Mechanical failure was present in all these three cases associated with other causes, being those corrosion and third party activity.

2. Distribution by specific cause

The distribution according to the specific cause can be seen in Table 5. The most frequent cause of the accidents was third party activities. Most of these events (76%) were caused by excavation machinery, followed by damages by a vehicle or other equipment not related to excavation activity. Following, with much lower frequencies are shipping traffic in river and heavy loads (for example, from a truck). In 6.3% of the cases there was no information available on the type of third party activity. With respect to the accidents caused by corrosion, the most frequent type was external corrosion, followed by internal, and lastly, stress corrosion cracking. These data indicate that maintenance is a very important issue to keep a pipeline in a safe condition. Concerning the accidents with “mechanical failure”, the most frequent specific cause was weld failure (43 cases), followed by materials defects, overpressure, construction defects and aging; here again the importance of maintenance is clear.

When analyzing accident scenarios, it is necessary to take into account the conditions for laying and placing pipelines (underground, aboveground, in a tunnel or in other closed / semi-closed space, "pipe in a pipe").

Destruction (partial or complete) of the process pipeline / pipeline fittings → release of explosive liquid into the environment (including liquid in superheated condition) → if there is an ignition source, immediate ignition, burning of the torch and / or strait (with release of non-boiling (stable) liquids, a burning flame is formed only on small openings of depressurization, fistulas) → in the absence of an ignition source, the outflow of liquid, in the presence of superheating of the liquid, it boils up, vapor mixture in the atmosphere → the formation and spreading of the spill of an explosive and fire hazardous liquid, its partial evaporation, if the temperature of the spilling liquid fraction is less than the temperature of the underlying surface, the boiling of the strait → the formation of an explosive concentration of vapors of an explosive liquid in the air from the evaporation / boiling of the strait, and from the effervescence of the ejection → drift of the FA cloud → ignition of TVS vapor in the presence of an ignition source → combustion / explosion of the FA cloud → fire and, in the case of a fistula, either in case of overheated liquid ejection, torch burning → falling into the zone of possible damaging factors (heat radiation, open flame, toxic products of the initial release or combustion products, pressure) people, equipment, buildings, structures → subsequent development (escalation) of the accident in the event that the affected equipment contains hazardous substances → localization and elimination of spillage (fire).

The "event tree" for the tank demounting / destruction scenario (tank group) has the final branches of the "event tree" marked with the word "Cessation of an accident", if there are

burning in these scenarios, they will be accompanied by the effects listed above in the scenario description. In the event that such an impact results in an additional release of the explosive and / or explosive liquid and / or the appearance of new foci of combustion, incl. on neighboring tanks, then the corresponding final branch on the above "event tree" will serve as a starting point for the new "event tree" of the given emergency situation.

The above conditional probabilities can be adjusted to take into account additional solutions aimed at reducing the risk of accidents.

Environmental pollution according to the released volume By referring to the main substances involved, it is interesting to evaluate the number of entries for which environmental pollution has been reported as a function of the volume released. Only 29% of the total cases (310 entries) reported both the affected system and the quantity of material involved. In Table 9, the distribution of the accidents is illustrated according to the quantity of volume released and the specific type of contamination. Four types of pollution are discussed: soil pollution, water pollution, soil and water pollution, and “other types”. The greatest number of accidents led to soil pollution: the most frequent events, according to the volume released, fall in the ranges 5–50 m³ and 100–500 m³. For soil and water pollution, the most frequent cases fall in the ranges 100– 500 m³ and 500–5000 m³. Differently, for water pollution, no characteristic distribution has been observed.

Conclusions

Pipelines have a certain major hazard potential, and loss of containment events and accidents still occur whose consequences can be quite significant. Among the major accidents analyzed, fires are the most common events (jet fires being the most frequent fire type), followed by explosions. This is due to the fact that most of the transported fluids are flammable; the highest contributions are those from gasoline, natural gas and oil, which were involved in 83% of all accidents. Pipelines cross both rural and urban zones. Although in inhabited zones there are much more activities which could affect pipelines integrity and interfere with possible releases, it is in rural zones that most of the accidents have occurred (68.6%). This is because of the much longer proportion of pipelines running through these zones with respect to those crossing urban ones. Nevertheless, this analysis shows that an effort should be made in order to improve the safety in inhabited/urban zones, where severe consequences on people can occur. The most frequent cause originating the accidents has been found to be third party activities, essentially excavation machinery. Pipelines often cross other utility service lines (e.g., water, gas service lines, phone lines, etc.), and the potential damage, by third parties unaware of the presence of the line, increases; furthermore, activities related to the construction of buildings or new infrastructures near the pipeline can have also a significant contribution. Especially in the case of

underground pipes, the hallways should be indicated and protected and, in the event of urban development works, ad-hoc measures should be applied and the regulations concerning both these activities and the protection of pipelines should be strictly applied. The environmental pollution is directly related to the volume released, which strongly depends on the distance between the blocking valves and on the time needed to stop the release from the section damaged. Though a significant number of accidents have led to a number of fatalities and injuries to people, the transport of hazardous materials by pipelines seems to be a safer mode than road or rail transport. Nevertheless, an effort should be made to decrease their risk and, in this sense, land-use planning is an essential issue.

Приложение Б

(справочное)

Физико-химические свойства дизельного топлива, газов, метана, бутана, пропана

Таблица Б.1 – Значения параметров дизельного топлива [4]

Параметры	Значения параметров для дизельных топлив							
	А ГОСТ 305- 82	АВТ	Л ГОСТ 305- 82	ДЗ ГОСТ 4749- 73	ДЛ ГОСТ 4749- 73	ДС ГОСТ 4749- 73	ДТ-1	ДТ-2
Молярная масса	-	-	203,6	-	-	-	-	-
Плотность, кг·м ⁻³	783	866	824	815	841	832	916,8	921
Температура кипения, °С	150-322	-	246	185-348	198-356	-	-	-
Группа горючести	ЛВЖ	ГЖ	ГЖ	ЛВЖ	ГЖ	ГЖ	ГЖ	ГЖ
Температура вспышки, °С	37	75	65	59	65	92	110	110
Температура воспламенения, °С	-	-	-	-	-	112	-	-
Температура самовоспламенения, °С	333	260	210	237	225	231	370	350
Нижний концентрационный предел распространения пламени, % (об.)	-	-	0,5	-	-	-	-	-
Температурные пределы распространения пламени, °С								
<i>Нижний</i>	35	-	58	54	64	76	99	91
<i>Верхний</i>	75	-	108	98	116	146	137	155

Таблица Б.2 – Физико-химические свойства газов [4]

Марка бензина	Плотность, кг·м ⁻³	Температура вспышки, °С	Температура самовоспламенения, °С	Концентрационные пределы распространения пламени, % (об.)	Температурные пределы распространения пламени, % (об.)
Автомобильный нестабильный	806,4	-30	345	0,93÷5,1	-30÷-24
Автомобильный стабильный	798	-27	370	0,96÷4,96	-27÷3
Бензин гексановой фракции	673	-11	269	1,33	-
Бензин низкооктановый	677	-45	293	-	-45÷-5
Бензин экстракционный	-	-28	268	1,10÷6,3	-244÷-6

Таблица Б.3 – Основные параметры метана, пропана и бутана [5]

Параметр	Метан	Пропан	н-Бутан
Химическая формула	CH ₄	C ₃ H ₈	C ₄ H ₁₀
Молекулярная масса М, кг·кмоль ⁻¹	16,04	44,1	58,12
Плотность газовой фазы, при P ₀ =101,3 кПа и T ₀ =20°C, кг·м ⁻³	0,668	1,872	2,519
Плотность паров, при P ₀ и T _{кип} , кг·м ⁻³	1,76	2,33	2,60
Плотность жидкой фазы, кг·м ⁻³	427,2 (T= -165°C)	710,9 (T= -165°C)	635 (T= -33°C)
Удельная газовая постоянная, Дж·кг ⁻¹ ·К ⁻¹	518	188,5	140
Температура критическая, °C	-82,2	96,8	152,0
Давление критическое, МПа	4,63	4,25	4,25
Теплоемкость газа C _p при T= 0 °C, кДж·кг ⁻¹ ·град ⁻¹	2,25	2,49	1,60
Температура кипения, при P ₀ =101,3 кПа, °C	-161,6	-42,1	-0,5
Теплоемкость жидкой фазы C _ж , кДж·кг ⁻¹ ·град ⁻¹	2,17 (T=-165°C)	0,97 (T=-165°C)	1,60
Скрытая теплота испарения ΔH _v при P ₀ = 101,3 кПа, кДж·кг ⁻¹	512,4	428,4	390,6
Динамическая вязкость газа, μ·10 ⁻⁷ Н·с·м ⁻²	103	73,6	62,9
Динамическая вязкость жидкости, μ·10 ⁻⁶ Н·с·м ⁻²	66,64	135,2	210,8
Кинематическая вязкость газа, ν·10 ⁻⁶ м ² ·с	14,71	3,82	2,55
Коэффициент теплопроводности жидкости λ, Вт·м ⁻¹ ·с ⁻¹	0,306	0,126	0,132
Отношение объема газа к объему жидкости при P ₀ =101,3 кПа и T ₀ = 20°C	622	282	238
Концентрационные пределы распространения пламени, % (об.)	5,28 -14,1	2,3 - 9,4	1,8-9,1
Стехиометрическая концентрация, % (об.)	9,48	4,03	3,13

Приложение В

(справочное)

Частоты отказов технологического оборудования

Таблица В.1 – Частота отказа оборудования [11]

Элемент оборудования	Частота отказа, год ⁻¹
Арматура трубопроводов	$350 \cdot 10^{-3}$
Вентили	$260 \cdot 10^{-3}$
Вращающиеся части насосов	$60 \cdot 10^{-3}$
Переходные шланги под давлением	$35 \cdot 10^{-3}$
Емкости под давлением	$17 \cdot 10^{-3}$
Прокладки	$4 \cdot 10^{-3}$
Насосы с машинным приводом	$7,7 \cdot 10^{-2}$ ($9,8 \cdot 10^{-2} \div 2,7 \cdot 10^{-2}$)
Трубопроводы	$9,6 \cdot 10^{-3}$ ($2,2 \cdot 10^{-3} \div 4,3 \cdot 10^{-2}$)
Трубопроводы с нефтепродуктами	$8,6 \cdot 10^{-4}$
Трубопроводы	
D < 50 мм разрыв	$8,8 \cdot 10^{-7}$
утечка	$8,8 \cdot 10^{-6}$
50 < D < 150 мм разрыв	$2,6 \cdot 10^{-7}$
утечка	$5,2 \cdot 10^{-6}$
D > 150 мм разрыв	$8,8 \cdot 10^{-8}$
утечка	$2,6 \cdot 10^{-6}$
Шланг гибкий	$5,9 \cdot 10^{-2}$
высокого давления	$3,4 \cdot 10^{-4}$
Клапаны	
шариковые и рычажные	$4 \cdot 10^{-2}$
сверхскоростные	$3 \cdot 10^{-2}$
горючего	$5,6 \cdot 10^{-2}$ ($1,1 \cdot 10^{-2} \div 3,3 \cdot 10^{-1}$)
стопорные	$2 \cdot 10^{-2}$ ($9,8 \cdot 10^{-4} \div 4,1 \cdot 10^{-2}$)
резервуарные	$6 \cdot 10^{-2}$ ($2,4 \cdot 10^{-2} \div 9,5 \cdot 10^{-1}$)
ручные переключающие	$5,7 \cdot 10^{-2}$ ($3 \cdot 10^{-2} \div 1,3 \cdot 10^{-1}$)
Клапан пневматический, отказ при закрытии (блокировка) или внешняя утечка (через прокладку)	$3 \cdot 10^{-1}$, ($1,9 \cdot 10^{-1} \div 5,7 \cdot 10^{-1}$)
Резервуар гидравлический	$1,3 \cdot 10^{-2}$ ($7,2 \cdot 10^{-4} \div 2,4 \cdot 10^{-2}$)

Таблица В.2– Частота реализации событий, инициирующих аварию

[11]

Иницирующее событие	Частота, год ⁻¹
Отрыв трубы для слива жидкой фазы	$3 \cdot 10^{-7} \div 3 \cdot 10^{-5}$
Отрыв трубы для залива жидкой фазы	$3 \cdot 10^{-7} \div 3 \cdot 10^{-5}$
Отрыв трубы для перекачки газовой фазы	$3 \cdot 10^{-7} \div 3 \cdot 10^{-5}$
Срыв люка резервуара	$10^{-8} \div 10^{-6}$
Обрыв трубы для транспортировки жидкой фазы на сливной эстакаде	$10^{-6} \div 10^{-4}$
Обрыв трубы для транспортировки газовой фазы на сливной эстакаде	$10^{-6} \div 10^{-4}$
Разрыв или разгерметизация железнодорожной цистерны	$10^{-7} \div 10^{-5}$
Срыв заливного шланга	$10^{-3} \div 10^{-1}$
Разрыв или разгерметизация автоцистерны	$10^{-6} \div 10^{-4}$
Разрушение вентилей на карусельном станке	10^{-4}
Разрыв одного из бытовых газовых баллонов	10^{-4}
Повреждение труб или вентилей в помещении компрессорного участка	$7 \cdot 10^{-7} \div 7 \cdot 10^{-5}$
Разрыв одной из труб на территории базы	$7 \cdot 10^{-7} \div 7 \cdot 10^{-3}$

Таблица В.3 – Вероятность зажигания при авариях АЦ

Вид топлива	Вероятность зажигания после аварии, %
Дизельное топливо	5
Бензин	20
СУГ	30

Таблица В.4 – Частоты возникновения пожара на различных объектах

[11]

Наименование объекта	Частота возникновения пожара, год ⁻¹
Электростанции	$2,2 \cdot 10^{-5} \text{ м}^{-2}$
Склады химической продукции	$1,2 \cdot 10^{-5} \text{ м}^{-2}$
Инструментально-механические цеха	$6,0 \cdot 10^{-5} \text{ м}^{-2}$
Резервуарный парк нефтепродуктов	$1,1 \cdot 10^{-3}$ $3 \cdot 10^{-4} (2 \cdot 10^{-4} \div 5 \cdot 10^{-5})$
Резервуар со стационарной крышей	$1,1 \cdot 10^{-4}$
Резервуар для хранения нефтепродуктов	$2,9 \cdot 10^{-4} \div 8,5 \cdot 10^{-4}$

Приложение Г

(справочное)

Дерево причин возникновения пожара на АЗС

